

# SKRIPSI

## **APLIKASI TEKNIK *BIOPILING* DENGAN PROSES BIODEGRADASI OLEH *BACILLUS CEREUS* PADA TANAH TERCEMAR BENZENA**

Oleh:

**Dinie Fahrianie**

**99.26.008**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2008**

1953

НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ ПО  
ПРОБЛЕМАМ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И РАДИОАКТИВНОСТИ  
УЧЕБНО-НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЦЕНТР ПРИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

И. И. ВАСИЛЬЕВ  
А. С. ПЕТРОВИЧ  
И. П. С.

ПРОЦЕДУРА  
ЭТОЙ РАБОТЫ  
1953

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ПРОБЛЕМАТИКА АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И РАДИОАКТИВНОСТИ  
УЧЕБНО-НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПРИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

1953

**LEMBAR PERSETUJUAN**

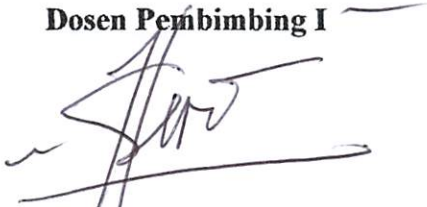
**SKRIPSI**

**APLIKASI TEKNIK *BIOPILING* DENGAN PROSES BIODEGRADASI  
OLEH *BACILLUS CEREUS* PADA TANAH TERCEMAR BENZENA**

**Oleh:  
DINIE FAHRIANIE  
9926008**

**Menyetujui  
Tim Pembimbing**

**Dosen Pembimbing I**



**DR. Ir. Hery Setyobudiarso, Msc**

**NIP. 131965844**

**Dosen Pembimbing II**



**Candra Dwiratna, ST. MT**

**NIP P. 1030000349**

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan**



**Sudiro, ST. MT**

**NIP Y. 1039900327**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**APLIKASI TEKNIK *BIOPILING* DENGAN PROSES BIODEGRADASI  
OLEH *BACILLUS CEREUS* PADA TANAH TERCEMAR BENZENA**

Oleh:  
**DINIE FAHRIANIE**  
9926008

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensif Skripsi Jurusan/Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata Satu (S-1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 19 Maret 2008.

Mengetahui  
Panitia Ujian Komprehensif Skripsi

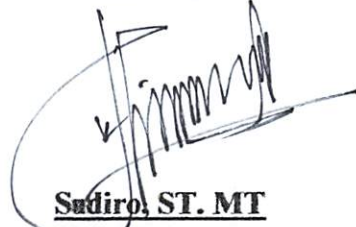
Ketua



Ir. Agustina Nurul H., MTP

NIP Y. 103900214

Sekretaris



Sudiro, ST. MT

NIP Y. 1039900327

Dewan Penguji

Dosen Penguji I



Sudiro, ST. MT

NIP Y. 1039900327

Dosen Penguji II



Hardiyanto, ST. MT

NIP P. 1030000350



## ABSTRAKSI

---

Aplikasi Teknik *Biopiling* Dengan Proses Biodegradasi Oleh *Bacillus Cereus* Pada Tanah Tercemar Benzena. Dinie Fahrianie., Hery Setyobudiarso., Candra Dwiratna. Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Nasional Malang

---

Senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak bumi berupa senyawa benzena, toluena, ethylbenzena, isomer xylene (BTEX), merupakan komponen utama dalam minyak bumi yang bersifat rekalsitran, artinya sulit mengalami perombakan di alam, baik di darat maupun di air. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan konsentrasi senyawa benzena dalam tanah yang tercemar minyak bumi dengan menggunakan teknik *biopiling*. Metode penelitian ini menggunakan teknik *biopiling* dengan variasi titik pengambilan sampel (kedalaman 1 meter dan 3 meter dari atas permukaan tanah, dengan lebar jarak pengambilan sampel 1 meter dan 5 meter dari tepi sumur); variasi penambahan jumlah bakteri (yaitu tanpa penambahan bakteri *Bacillus Cereus*, penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*, penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus* dan penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*), variasi hari pengambilan sampel (yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari).

Analisa data menggunakan statistik (Anova, korelasi dan regresi). Hasil penelitian menunjukkan bahwa titik pengambilan sampel dengan kedalaman 1 meter dari atas permukaan tanah dan lebar 1 meter dari tepi sumur memiliki konsentrasi senyawa benzena yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedalaman 3 meter dari atas permukaan tanah dan lebar 5 meter dari tepi sumur. Semakin lama hari pengambilan sampel maka persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akan semakin meningkat dan jumlah bakteri, nilai C: N: P, nilai kadar air dan pH akan semakin berkurang. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan pertumbuhan bakteri paling efektif terjadi pada 7 hari pertama, dimana kadar air dan C: N: P memiliki nilai yang lebih tinggi serta pH yang mendekati suasana normal. Variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus* pada 7 hari pengambilan sampel mampu meningkatkan jumlah bakteri sebanyak  $9,28 \cdot 10^6$  dan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena sebanyak 83.939%.

---

Kata kunci: *Biopiling*, Benzena, *Bacillus Cereus*, Hari pengambilan sampel, C:N:P, pH, Kadar air.

---

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul *“Aplikasi Teknik Biopiling Dengan Proses Biodegradasi Oleh Bacillus Cereus Pada Tanah Tercemar Benzena”*.

Skripsi ini disusun setelah melalui penelitian, analisa data dan pembahasan dari data yang telah diperoleh dari penelitian. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, kerja sama dan bimbingan dari semua pihak, karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Bapak DR. Ir. Hery Setyobudiarso, Msc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
2. Ibu Candra Dwiratna, ST. MT, selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Sudiro, ST. MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
4. Bapak Hardianto, ST. MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
5. Ibu Tuani Lidyawati, ST. MT, selaku dosen yang telah memberikan rekomendasi penelitian ini.
6. Ibu Evy Hendrianti, ST. MMT, selaku dosen yang memberikan rekomendasi penelitian ini.
7. Ibu Anis Artiyani, ST selaku Sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
8. Dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
9. Teman-teman Teknik Lingkungan dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam proses penyelesaian laporan skripsi ini.

Kesadaran akan masih banyaknya kekurangan atas laporan ini, membuat penulis berharap akan adanya masukan dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi yang saya susun.

Dan akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater, khususnya para rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang.

Malang, Maret 2008

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b>	.....	i
<b>DAFTAR TABEL</b>	.....	ii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	.....	iii
<b>ABSTRAKSI</b>		
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>		
1.1 Latar Belakang	.....	1
1.2 Permasalahan	.....	2
1.3 Perumusan Masalah	.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	.....	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>		
2.1 Teknologi Remediasi	.....	4
2.1.1 Remediasi In-Situ	.....	4
2.1.2 Remediasi Ex-Situ	.....	4
2.1.3 Proses Bioremediasi	.....	5
2.1.4 Teknik Yang Digunakan Dalam Remediasi	.....	5
2.2 Teknologi Bioremediasi	.....	7
2.2.1 Faktor Pembatas Bioremediasi	.....	8
2.2.2 Keuntungan Dan Kerugian	.....	8
2.2.3 Teknik Yang Digunakan Dalam Bioremediasi	.....	8
2.3 Biopiling	.....	15
2.3.1 Faktor Pembatas Biopiling	.....	15
2.3.2 Keuntungan Dan Kerugian	.....	15
2.3.3 Sistem Desain Biopiling	.....	16
2.3.4 Nilai Baku Mutu Untuk Teknik Biopiling	.....	22
2.4 Minyak Bumi	.....	22
2.4.1 Arti Minyak Bumi	.....	23
2.4.2 Kandungan Kimia Minyak Bumi	.....	23
2.4.3 Susunan Kimia Minyak Bumi	.....	24

2.4.4 Jenis Hidrokarbon Yang Dapat Didegradasi Oleh Mikroba	26
2.5 Senyawa Benzena	26
2.5.1 Sifat Kimia Dan Fisika Senyawa Benzena	26
2.5.2 Sumber Pencemaran Senyawa Benzena	27
2.5.3 Efek Senyawa Benzena	27
2.6 Mikroorganisme	29
2.6.1 Proses Biologis Dalam Tanah	29
2.6.2 Konsorsium Mikroorganisme	29
2.6.3 Bakteri	30
2.6.4 Bakteri Pemecah Hidrokarbon	31
2.6.5 Bakteri Gram Positif Dan Bakteri Gram Negatif	31
2.6.6 Klasifikasi Mikroorganisme	33
2.6.7 Bacillus Cereus	34
2.6.8 Pertumbuhan Mikroorganisme	35
2.6.9 Metabolisme Mikroba	37
2.6.10 Faktor Lingkungan Yang Berpengaruh	39
2.7 Metode Pengolahan Data	40
2.7.1 Statistik Deskriptif	40
2.7.2 Statistik Inferensi	41
2.7.3 Generalisasi Dan Kesimpulan Data	44

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Tempat Penelitian	45
3.2 Jenis Penelitian	45
3.3 Variabel Penelitian	45
3.3.1 Variabel Terikat	45
3.3.2 Variabel Bebas	45
3.3.3 Variabel tetap	45
3.4 Bahan-Bahan Dan Peralatan	45
3.4.1 Bahan-Bahan	45
3.4.2 Peralatan	46
3.4.3 Konstruksi Biopiling Dan Variasi Yang Dilakukan	47

3.4.4 Gambar Konstruksi Biopiling .....	48
3.5 Prosedur Penelitian .....	48
3.5.1 Metode Pengambilan Sampel .....	48
3.6 prosedur Uji Pendahuluan .....	49
3.6.1 Konsentrasi Senyawa Benzena Awal .....	49
3.6.2 Jumlah Bakteri Bacillus Cereus .....	49
3.6.3 Kadar Air, C:N:P, pH awal .....	49
3.7 Prosedur Persiapan Bahan dan Tempat	
Penelitian .....	50
3.8 Prosedur Penelitian .....	50
3.9 Prosedur Uji Lanjutan .....	51
3.10 Pengolahan Data .....	51
3.10.1 Metode Analisa .....	51
3.10.2 Metode Statistik .....	52
3.10.3 Diagram Alir Penelitian .....	52

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Tes Pendahuluan .....	53
4.2 Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Selama Proses Biodegradasi .....	54
4.2.1 Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena .....	55
4.2.2 Jumlah Bakteri .....	58
4.2.3 Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri .....	60
4.2.4 Analisa Data Statistik .....	65
4.2.5 Pembahasan Pengaruh Faktor Titik Pengambilan Sampel, Faktor Hari Pengambilan Sampel Dan Faktor Penambahan Bakteri Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri .....	80
4.3 Hubungan Proses Biodegradasi Terhadap pH Dan Kadar Air .....	84
4.3.1 Penurunan Nilai pH .....	84
4.3.2 Penurunan Nilai Kadar Air .....	86



4.3.3 Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air .....	89
4.3.4 Analisa Data Statistik .....	94
4.4 Hubungan Proses Biodegradasi Terhadap Nilai C:N:P .....	101
4.4.1 Penurunan Nilai C:N:P .....	101
4.4.2 Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai C:N:P .....	105
4.4.3 Analisa Data Statistik .....	109

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	117
5.2 Saran .....	118

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Baku Mutu Untuk Pengolahan Biopiling .....	22
Tabel 2.2 Beberapa Ciri Bakteri Garm Positif Dan Gram Negatif .....	32
Tabel 2.3 Koefisien Korelasi Guilford .....	43
Tabel 4.1 Jumlah Bakteri Hasil Isolasi Tahap II .....	53
Tabel 4.2 Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena .....	55
Tabel 4.3 Data Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena (%) .....	57
Tabel 4.4 Data Jumlah Bakteri .....	58
Tabel 4.5 Analisa ANOVA Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena .....	65
Tabel 4.6 Analisa ANOVA Jumlah Bakteri .....	66
Tabel 4.7 Duncan – Benzena Versus Penambahan .....	67
Tabel 4.8 Duncan – Benzena Versus Hari Pengambilan Sampel .....	68
Tabel 4.9 Duncan – Bakteri Versus Penambahan Bakteri .....	69
Tabel 4.10 Duncan – Bakteri Versus Hari Pengambilan Sampel .....	70
Tabel 4.11 Duncan – Bakteri Versus Titik Pengambilan Sampel .....	71
Tabel 4.12 Tabel Korelasi Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri, Penambahan Bakteri, Titik Pengambilan Sampel, Hari .....	72
Tabel 4.13 Analisa Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Versus Penambahan Bakteri, Titik Pengambilan Sampel, Hari .....	76
Tabel 4.14 Analisa Regresi Jumlah Bakteri Versus Penambahan Bakteri, Titik Pengambilan Sampel, Hari .....	77
Tabel 4.15 Nilai pH Selama Proses Degradasi .....	85
Tabel 4.16 Nilai Kadar Air (%) .....	87
Tabel 4.17 Tabel Korelasi Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri, pH, Kadar Air .....	95
Tabel 4.18 Analisa Regresi pH versus Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri, Kadar Air .....	96

<b>Tabel 4.19 Analisa Regresi Kadar Air versus Persentase Penurunan</b>	
<b>Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah</b>	
<b>Bakteri, pH</b>	<b>.....97</b>
<b>Tabel 4.20 Nilai C:N:P</b>	<b>.....101</b>
<b>Tabel 4.21 Tabel Korelasi Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa</b>	
<b>Benzena, Jumlah Bakteri, C:N:P</b>	<b>.....110</b>
<b>Tabel 4.22 Analisa Regresi C versus Persentase Penurunan Konsentrasi</b>	
<b>Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri</b>	<b>..... 112</b>
<b>Tabel 4.23 Analisa Regresi N versus Persentase Penurunan Konsentrasi</b>	
<b>Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri</b>	<b>..... 113</b>
<b>Tabel 4.24 Analisa Regresi P versus Persentase Penurunan Konsentrasi</b>	
<b>Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri</b>	<b>..... 114</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Bioventing .....	9
Gambar 2.2 Proses Biosparging .....	10
Gambar 2.3 Proses Injeksi Dan Pengumpulan (Recovery) .....	11
Gambar 2.4 Proses Biopiling .....	13
Gambar 2.5 Proses Land Farming .....	14
Gambar 2.6 Seri Homolog Hidrokarbon Utama Dalam Minyak Bumi .....	25
Gambar 2.7 Oksidasi Senyawa Benzena Menjadi Cathecol .....	38
Gambar 2.8 Pemutusan Rantai Karbon-Ortho .....	38
Gambar 2.9 Pemutusan Rantai Karbon Metha .....	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	52
Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena Pada Piling A .....	56
Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena Pada Piling B .....	56
Gambar 4.3 Grafik Jumlah Bakteri Pada Piling A .....	59
Gambar 4.4 Grafik Jumlah Bakteri Pada Piling B .....	59
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A (tanpa penambahan bakteri) .....	60
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling B (Tanpa Penambahan Bakteri) .....	61
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A (Variasi Penambahan $1,84 \cdot 10^6$ Koloni Bakteri Bacillus Cereus) .....	62
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling B (Variasi Penambahan $1,84 \cdot 10^6$ Koloni Bakteri Bacillus Cereus) .....	62

<b>Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A (Variasi Penambahan <math>1,60 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri Bacillus Cereus)</b>	<b>63</b>
<b>Gambar 4.10 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling B (Variasi Penambahan <math>1,60 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri Bacillus Cereus)</b>	<b>63</b>
<b>Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A (Variasi Penambahan <math>3,44 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri Bacillus Cereus)</b>	<b>64</b>
<b>Gambar 4.12 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling B (Variasi Penambahan <math>3,44 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri Bacillus Cereus)</b>	<b>64</b>
<b>Gambar 4.13 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A dan Piling B (Perlakuan I)</b>	<b>74</b>
<b>Gambar 4.14 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A dan Piling B (Perlakuan II)</b>	<b>785</b>
<b>Gambar 4.15 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A dan Piling B (Perlakuan III)</b>	<b>75</b>
<b>Gambar 4.16 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A dan Piling B (Perlakuan IV)</b>	<b>76</b>
<b>Gambar 4.17 Grafik Penurunan Nilai pH Pada Piling A</b>	<b>85</b>
<b>Gambar 4.18 Grafik Penurunan Nilai pH Pada Piling B</b>	<b>86</b>
<b>Gambar 4.19 Grafik Kadar Air Pada Piling A</b>	<b>88</b>
<b>Gambar 4.20 Grafik Kadar Air Pada Piling B</b>	<b>88</b>

<b>Gambar 4.21 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air Pada Piling A (Tanpa Penambahan Bakteri)</b>	<b>.....89</b>
<b>Gambar 4.22 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air Pada Piling B (Tanpa Penambahan Bakteri)</b>	<b>.....89</b>
<b>Gambar 4.23 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air Pada Piling A (Variasi Penambahan Bakteri <math>1,84 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri Bacillus Cereus)</b>	<b>.....90</b>
<b>Gambar 4.24 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air Pada Piling B (Tanpa Penambahan Bakteri <math>1,84 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri Bacillus Cereus)</b>	<b>.....91</b>
<b>Gambar 4.25 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air Pada Piling A (Tanpa Penambahan Bakteri <math>1,60 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri Bacillus Cereus)</b>	<b>.....92</b>
<b>Gambar 4.26 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air Pada Piling B (Tanpa Penambahan Bakteri <math>1,60 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri Bacillus Cereus)</b>	<b>.....92</b>

<b>Gambar 4.27 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air Pada Piling A (Tanpa Penambahan Bakteri <math>3,44 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri <i>Bacillus Cereus</i>)</b>	<b>93</b>
<b>Gambar 4.28 Grafik Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH Dan Kadar Air Pada Piling B (Tanpa Penambahan Bakteri <math>3,44 \cdot 10^6</math> Koloni Bakteri <i>Bacillus Cereus</i>)</b>	<b>93</b>
<b>Gambar 4.29 Nilai C Pada Piling A</b>	<b>102</b>
<b>Gambar 4.30 Nilai C Pada Piling B</b>	<b>103</b>
<b>Gambar 4.31 Nilai N Pada Piling A</b>	<b>103</b>
<b>Gambar 4.32 Nilai N Pada Piling B</b>	<b>103</b>
<b>Gambar 4.33 Nilai P Pada Piling A</b>	<b>104</b>
<b>Gambar 4.34 Nilai P Pada Piling B</b>	<b>104</b>
<b>Gambar 4.35 Grafik Nilai C:N:P Pada Piling A (Perlakuan I)</b>	<b>105</b>
<b>Gambar 4.36 Grafik Nilai C:N:P Pada Piling B (Perlakuan I)</b>	<b>105</b>
<b>Gambar 4.37 Grafik Nilai C:N:P Pada Piling A (Perlakuan II)</b>	<b>106</b>
<b>Gambar 4.38 Grafik Nilai C:N:P Pada Piling B (Perlakuan II)</b>	<b>106</b>
<b>Gambar 4.39 Grafik Nilai C:N:P Pada Piling A (Perlakuan III)</b>	<b>107</b>
<b>Gambar 4.40 Grafik Nilai C:N:P Pada Piling B (Perlakuan III)</b>	<b>107</b>
<b>Gambar 4.41 Grafik Nilai C:N:P Pada Piling A (Perlakuan IV)</b>	<b>108</b>
<b>Gambar 4.42 Grafik Nilai C:N:P Pada Piling B (Perlakuan IV)</b>	<b>109</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang cukup pesat menyebabkan kebutuhan minyak bumi sebagai sumber energi untuk bahan baku produksi semakin meningkat pula. Usaha-usaha untuk mendapatkan minyak bumi terus dilakukan, baik dengan melakukan eksplorasi sumur baru maupun dengan eksplorasi sumur-sumur yang sudah ada. Kegiatan eksplorasi minyak bumi dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, diantaranya bersumber dari kegiatan pengeboran, produksi, pengilangan, transportasi minyak, perembesan dari reservoirnya, serta kegiatan pemuatan dan pembongkaran di pelabuhan.

Senyawa benzena, toluena, ethylbenzena, isomer xylene (BTEX), merupakan komponen utama dalam minyak bumi yang bersifat rekalsitran, artinya sulit mengalami perombakan di alam, baik di darat maupun di air. Lingkungan yang tercemar oleh minyak bumi diduga akan menghasilkan jenis mikroba mutagen yang bersifat petrofilik, yaitu jenis bakteri yang menggunakan hidrokarbon sebagai sumber makanan untuk kelangsungan hidupnya (Wibisono, Dono. G dan Arsyad, Ibrahim, 2003). Hidrokarbon, dalam hal ini adalah minyak bumi yang memiliki sifat tidak beracun bagi lingkungan dan makhluk hidup lainnya. Keseluruhan proses ini disebut dengan bioremediasi.

Teknik bioremediasi berbasis pada pengolahan biologis, yaitu memanfaatkan aktifitas mikroorganisme untuk mendegradasi (mentransformasi polutan, dalam hal ini adalah hidrokarbon) menjadi bahan yang kurang berbahaya atau tidak beracun (air dan karbon dioksida). Salah satu teknologi yang menggunakan teknik bioremediasi untuk mendegradasi hidrokarbon di dalam tanah adalah *biopiling*. Teknologi ini disajikan dalam satu rangkaian yang meliputi: menimbun tanah menjadi gundukan-gundukan dan menstimulasi pertumbuhan bakteri di dalam tanah melalui penambahan udara, nutrisi dan air.

*Biopiling* sangat efektif digunakan untuk pengolahan tanah yang tercemar hidrokarbon karena teknik ini membutuhkan biaya yang murah dan waktu perlakuan yang sangat singkat, membutuhkan lahan yang tidak terlalu luas dan

mudah dalam mengumpulkan dan mendaur ulang *leachate*. Sebuah percobaan *biopiling* telah dilakukan dengan menggunakan tanah tercemar hidrokarbon dari 2 akademi militer di *Canadian Arctic; Hall Beach And CFS Alert, Nunavat*. Hasil percobaan menunjukkan tingkat penurunan konsentrasi total petroleum hidrokarbon (TPH) dari 2757 ppm menjadi 743 ppm (73,050 %).

## 1.2 Permasalahan

Menggunakan teknik *biopiling* untuk meremediasi tanah tercemar senyawa benzena, dengan menstimulasi pertumbuhan dan aktifitas bakteri melalui suplai udara, air dan nutrien yang sesuai dengan kebutuhan bakteri.

## 1.3 Perumusan Masalah

- a. Apakah jenis bakteri paling dominan.
- b. Apakah teknik *biopiling* cukup efektif digunakan untuk meremediasi tanah tercemar senyawa benzena.
- c. Berapakah tingkat penurunan konsentrasi senyawa benzena yang terjadi dengan adanya penambahan bakteri spesies *Bacillus Cereus*.
- d. Berapakah tingkat pertumbuhan terbaik selama proses biodegradasi.
- e. Apakah proses biodegradasi senyawa benzena berpengaruh terhadap nilai kadar air, pH dan C: N: P dalam tanah.

## 1.4 Tujuan Penelitian

- a. Menentukan bakteri dominan.
- b. Mengetahui efektifitas teknik *biopiling* dengan menggunakan bakteri spesies *Bacillus Cereus* dalam mendegradasi senyawa benzena.
- c. Mengetahui tingkat penurunan konsentrasi senyawa benzena pada variasi penambahan bakteri spesies *Bacillus Cereus* yang berbeda.
- d. Mengetahui tingkat pertumbuhan bakteri terbaik selama proses biodegradasi.
- e. Mengetahui pengaruh proses biodegradasi senyawa benzena terhadap nilai kadar air, pH dan C: N: P dalam tanah.

## **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

- a. Sampel yang diuji adalah tanah yang diambil dari dua lokasi berbeda, yang di dalamnya terkandung senyawa benzena.
- b. Dilakukan variasi titik pengambilan sampel uji, penambahan jumlah bakteri *Bacillus Cereus* dan hari pengambilan sampel.
- c. Parameter pokok adalah konsentrasi senyawa benzena; jumlah populasi bakteri, nilai kadar air, pH; dan konsentrasi C: N: P.
- d. Proses yang dilakukan adalah teknik *biopiling*.
- e. Penelitian dilakukan untuk mengetahui efektifitas proses *biopiling* dalam mendegradasi senyawa benzena dalam tanah tercemar minyak mentah.
- f. Melakukan analisa data sehingga mendapatkan suatu kesimpulan hasil penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Teknologi Remediasi**

Dengan semakin meningkatnya pencemaran tanah, maka upaya perbaikan kualitas lahan yang tercemar (*soil remediation*) perlu dilakukan. Remediasi adalah proses pembersihan permukaan tanah dari zat pencemar. Remediasi hanya dilakukan setelah penanganan zat pencemar pada sumbernya cukup memadai untuk mengurangi terlepasnya zat pencemar ke dalam lingkungan. Pelaksanaan remediasi tanah yang tercemar dapat dilakukan baik secara *in-situ* (*On-Site*) maupun *ex-situ* (*Off-Site*).

##### **2.1.1 Remediasi *In-situ* (*On-Site*)**

Aplikasi secara *in-situ* dilakukan tanpa memindahkan tanah sehingga cenderung tidak akan lebih merusak tanah dan efisien karena tidak perlu ongkos pengangkutan. Teknik *in-situ* kurang berbahaya terhadap struktur dan kesuburan tanah, kurang merembes (*intrusif*) dan residu yang ditinggalkan di pembuangan atau pengolahan (*treatment*) lanjutan jumlahnya sedikit. Namun demikian teknologi ini memerlukan waktu yang lama dan sulit untuk menjamin efektifitas sirkulasi aliran oksigen dan bahan kimia yang ditambahkan (Widyati, Enny, 2004).

Teknik ini umum dilakukan bila:

- a. Lokasi yang terkontaminasi berada jauh di dalam tanah, atau secara teknis sulit untuk diambil, misalnya pencemaran tanah oleh NAPL (*Non-Aqueous Phase Liquid*).
- b. Pencemaran terjadi dalam skala yang luas.  
(Notodarmojo, Suprihanto, 2005)

##### **2.1.2 Remediasi *Ex-situ* (*Off-Site*)**

Pembersihan *ex-situ* meliputi penggalian tanah yang tercemar dan kemudian dibawa ke daerah yang aman. Setelah berada di daerah yang aman, tanah tersebut dibersihkan dari zat pencemar. Caranya yaitu, tanah tersebut



disimpan di bak/tangki kemudian zat pembersih dipompakan ke dalam bak/tangki tersebut. Selanjutnya zat pencemar dipompakan keluar dari bak yang kemudian diolah dengan instalasi pengolahan limbah (Technology, Virginia, 2004). Aplikasi secara *ex-situ* selain dapat merusak tanah, adanya tambahan ongkos pengangkutan, meningkatkan mobilitas zat pencemar, memindahkan zat pencemar ke tempat pengolahan juga kemungkinan terjadinya ceceran sepanjang perjalanan merupakan resiko yang harus diperhatikan (Widyati, Enny, 2004).

### **2.1.3 Proses Remediasi**

Remediasi secara biologi (*Biological Treatment*) didasarkan atas satu atau lebih dari 4 proses utama:

- a) Biodegradasi, merupakan proses dekomposisi biokimiawi dari suatu senyawa dengan toksisitas yang lebih rendah atau menjadi produk yang tidak berbahaya (misalnya CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O) melalui aktivitas mikroorganisme seperti bakteri dan fungi.
- b) Biotransformasi merupakan proses konversi yang diperantai secara biokimiawi oleh aktivitas mikroorganisme, suatu zat pencemar menjadi kurang toksis.
- c) Akumulasi biologis, beberapa bakteri dan tanaman mampu mengakumulasi zat pencemar di dalam jaringan mereka. Di dalam tanaman sifat ini dapat dimanfaatkan untuk mengakumulasi zat pencemar ke dalam biomassa yang dapat dipanen.
- d) Mobilisasi zat pencemar, mobilisasi diperantai secara biokimia dari zat pencemar menjadi larutan yang kemudian dipisahkan dari tanah terkontaminasi dan zat pencemar akan diambil kembali atau dihancurkan. (Widyati, Enny, 2004)

### **2.1.4. Teknik Yang Digunakan Dalam Remediasi**

Beberapa teknik remediasi yang umum digunakan antara lain:

- a) Teknik Pemompaan dan Pengolahan (*Pump & Treat*)

Pada tanah atau akuifer yang telah lama terkontaminasi, zat pencemar mungkin telah tersorpsi ke dalam bagian dari butir atau bahkan partikel tanah.

Dengan demikian, fraksi yang berada di dalam bagian partikel tanah tersebut akan “keluar” dari partikel atau butir tanah ke permukaan. Setelah di permukaan, mereka akan terdesorpsi ke dalam air tanah mengikuti aliran air tanah melalui pori dan struktur geologi akuifer sebelum kemudian dipompa.

Kondisi diatas menyebabkan penyisihan zat pencemar seringkali terjadi dalam 2 tahap. Tahap pertama ditandai dengan tingginya zat pencemar, terutama yang berada dalam air yang dipompa. Hal ini disebabkan zat pencemar, terutama yang berada di lokasi yang mempunyai akses (di daerah yang *mobile*), dapat mengikuti laju aliran menuju pompa. Tahap kedua berlangsung lama ditandai dengan menurunnya konsentrasi yang kemudian cenderung konstan. Hal ini terjadi karena mekanisme diatas, yaitu desorpsi dan difusi, disebut sebagai tahap dimana proses penyisihan dikontrol oleh mekanisme difusi zat pencemar baik dari permukaan partikel tanah ataupun dari zat pencemar yang terjebak dalam pori yang buntu (*stagnant zone*). Pada *zone stagnant*, mekanisme difusi menjadi satu-satunya mekanisme transport. Hal yang sama terjadi pada zat pencemar NAPL. Setelah sebagian besar NAPL yang terdapat dalam pori-pori yang dapat dipompa, sebagian yang tertinggal akan terlarut ke dalam air. Bagian yang terlarut inilah yang dapat dipompa, selain faktor geologis akuifer, juga tergantung dari kelarutan (*solubility*) NAPL tersebut (Notodarmojo, Suprihanto, 2005).

#### b) Teknik *Soil Venting* (*Soil Vapour Extraction*)

Teknik *soil-venting* dilakukan bila zat pencemar merupakan zat pencemar organik dan volatil (mudah menguap). Teknik *soil venting* hanya diterapkan pada zona *vadose*, yaitu zona diatas permukaan air tanah dangkal. Teknik ini hanya efektif untuk senyawa organik volatil yang mempunyai tekanan uap lebih besar dari 0.55 mm Hg (Notodarmojo, Suprihanto, 2005).

Ada 2 sistem ventilasi dalam teknik *soil venting*, yaitu:

- Teknik yang menghisap udara pada daerah zona *vadose*
- Teknik yang menghembuskan udara ke dalam zona *vadose*

Teknik yang pertama lebih banyak digunakan karena kemudahan dalam mengelola udara terhisap yang telah mengandung uap zat pencemar dan uap air. Teknik yang kedua, lebih banyak digunakan bila sistem juga dimaksudkan untuk

mengolah zat pencemar secara biologis. Kedua teknik tersebut dapat digabungkan, dimana udara bertekanan yang dimasukkan ke dalam tanah akan membantu sirkulasi dan kelancaran penyedotan. Udara yang disedot tersebut dapat diolah dengan teknik sorpsi dengan filter yang berisi karbon aktif atau teknik lainnya, tergantung dari jenis zat pencemarnya. Bila kadarnya rendah dan diizinkan, udara berisi uap air dan zat pencemar tersebut dapat dibuang ke udara bebas (Notodarmojo, Suprihanto, 2005).

### c) Bioremediasi

Bioremediasi adalah teknik remediasi tanah tercemar berdasarkan pada aktifitas mikroorganisme untuk mendegradasi zat pencemar. Teknik bioremediasi ini dapat diterapkan pada padatan, seperti tanah atau lumpur yang tercemar dan air. Contoh dari penerapan teknik bioremediasi tanah adalah dalam remediasi lahan yang tercemar oleh minyak bumi atau senyawa pelarut terhalogenasi. Bioremediasi untuk minyak bumi telah dilakukan sejak tahun 1960-an (Notodarmojo, Suprihanto, 2005).

## 2.2 Teknologi Bioremediasi

Menurut Anas (1997), teknik bioremediasi akan mempercepat proses perombakan polutan dengan memilih inokulan mikroba yang sesuai dan memanipulasi kondisi lingkungan yang sesuai bagi mikroba tersebut sehingga memungkinkan proses terjadinya perombakan polutan secara maksimal. Bioremediasi dapat terjadi secara intrinsik dan direkayasa (*engineered*). Bioremediasi intrinsik adalah bioremediasi yang berlangsung dengan sendirinya tanpa campur tangan manusia karena kondisi lingkungan yang menunjang (nutrisi tersedia) dan mikroba yang berperan dalam jumlah yang mencukupi. Namun demikian seringkali faktor lingkungan tidak optimal sehingga tidak memungkinkan terjadinya bioremediasi intrinsik sehingga memerlukan perbaikan faktor lingkungan, hal ini disebut *engineered bioremediation* (Widyati, Enny, 2004).

### **2.2.1 Faktor Pembatas Bioremediasi**

Kemampuan sel mikroorganisme untuk melanjutkan pertumbuhannya sampai minyak bumi didegradasi secara sempurna bergantung pada suplai oksigen yang mencukupi dan nitrogen sebagai sumber nutrisi. Selain itu keaktifan mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti temperatur dan pH. Sebagai contoh, penambahan nutrisi anorganik seperti fosfor dan nitrogen untuk area tumpahan minyak meningkatkan kecepatan bioremediasi secara signifikan.

### **2.2.2 Keuntungan dan Kerugian**

Teknik bioremediasi mempunyai beberapa keuntungan antara lain:

- Bioremediasi merupakan proses alami.
- Hasil proses bioremediasi bukan merupakan produk yang berbahaya.
- Tanah yang terkontaminasi dapat ditanami kembali.

Namun demikian teknik bioremediasi juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu:

- Tidak seluruh polutan mampu didegradasi oleh mikroba.
- Akumulasi senyawa toksik yang merupakan metabolit sekunder selama proses bioremediasi tidak dapat dihindari.
- Proses perombakan akan mengalami kesulitan apabila polutan logam berat tercampur dengan polutan organik.

(Anas dalam Widyati, Enny, 2004)

### **2.2.3 Teknik Yang Digunakan Dalam Bioremediasi**

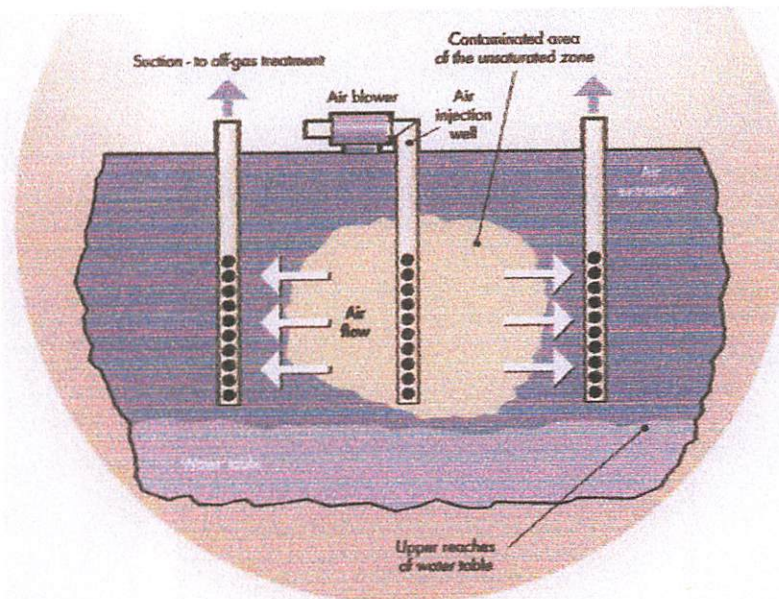
Beberapa teknik bioremediasi untuk mengolah tanah yang tercemar telah dikembangkan dengan berbagai modifikasinya. Teknik tersebut dapat digunakan secara *in-situ* ataupun *ex-situ*, yang akan diuraikan sebagai berikut:

### 2.2.3.1 Bioremediasi *In-Situ*

Teknik bioremediasi yang dapat diterapkan secara in-situ antara lain:

#### a) *Bioventing*

Teknik *soil venting* yang juga dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja biodegradasi polutan dalam tanah disebut sebagai *bioventing*. Seperti halnya teknik *soil venting*, teknik *bioventing* juga diterapkan pada remediasi tanah di zona *vadose*, dengan proses aerobik. Prosedurnya: memasukkan oksigen ke dalam tanah tercemar dengan tingkat yang rendah untuk mendorong biodegradasi dan mencegah penguapan. Teknik ini digunakan untuk mengolah tanah tercemar dengan volume yang besar dan mempunyai gangguan operasional yang kecil. *Bioventing* telah dilakukan lebih dari 150 lokasi dan muncul sebagai satu teknologi yang murah dan efektif yang dimiliki untuk remediasi zona *vadose* pada lokasi tercemar petroleum.



Gambar 2.1

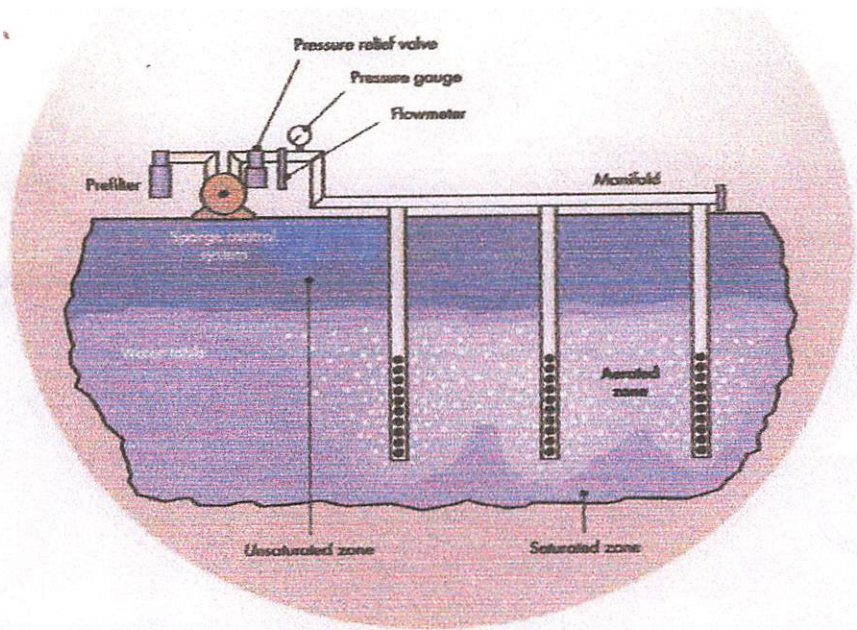
Proses *Bioventing*

#### b) *Biosparging*

Teknik *biosparging* berlangsung dengan memanfaatkan efektifitas udara sebagai medium untuk menyisihkan polutan organik yang volatil pada zona jenuh. Pada teknik *biosparging*, sebuah sumur untuk injeksi udara dibuat sehingga mencapai kedalaman di bawah permukaan air. Udara kemudian



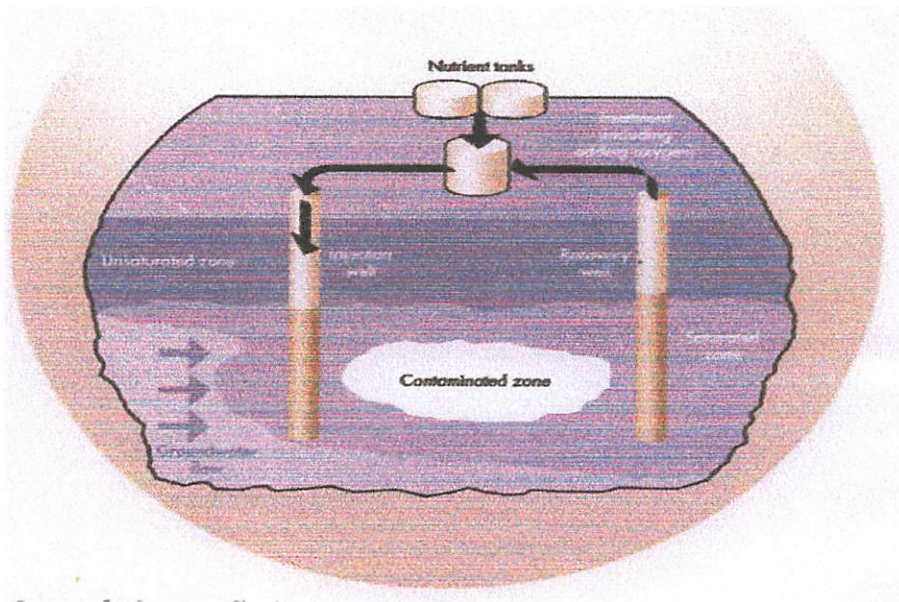
dipompakan ke dalam akuifer yang tercemar tersebut, dengan outlet di bawah permukaan air. Dengan adanya gelembung udara yang kemudian bergerak ke atas melalui zona yang terkontaminasi, diharapkan terjadi transfer massa kontaminan ke dalam gelembung udara. Selanjutnya, gelembung udara dan kontaminan yang volatil didalamnya akan bergerak ke atas. Setelah gelembung udara mencapai permukaan air (*preathic surface*) dan masuk ke zona *vadose*, teknik *soil venting* diterapkan untuk menghisap udara yang mengandung polutan tersebut (Notodarmojo, Suprihanto, 2005).



Gambar 2.2  
Proses *Biosparging*

c) Sistem injeksi dan pengumpulan (*recovery*)

Tujuan dari sistem ini adalah menciptakan bioreaktor skala medium untuk proses pengolahan. Polutan *phase aqueous* yang berada di zona saturasi dipompa menggunakan sumur pemompaan, menuju tangki pengolahan di atas permukaan tanah. Di dalam tangki pengolahan, nutrisi, oksigen dan elektron akseptor lainnya (sulfat dan nitrat) ditambahkan sebelum air tanah dipompakan kembali ke dalam tanah melalui sumur injeksi dan di-resirkulasi ke seluruh zona terkontaminasi. Oksigen dan nutrisi yang ditambahkan akan menstimulasi kehadiran mikroba di daerah yang terkontaminasi dan kemudian akan terjadi biodegradasi polutan terlarut yang ada dalam air tanah dan tanah.



Gambar 2.3

Proses Sistem Injeksi Dan Pengumpulan (*recovery*)

d) *Natural attenuation*

Juga dikenal sebagai bioremediasi pasif adalah sebuah pendekatan yang bergantung pada proses alami untuk mendegradasi dan menghilangkan polutan dalam tanah dan air tanah. Teknik remediasi ini hanya mengandalkan aktifitas mikroorganisme untuk memecah polutan dalam tanah, tidak membutuhkan penambahan oksigen atau nutrisi untuk memudahkan proses. *Natural attenuation* berjalan sangat lambat sekali, sehingga teknik ini sangat sesuai ketika remediasi tidak terlalu dibutuhkan dan reseptor terdekat tidak terkontaminasi.

e) *Fitoremediasi*

*Fitoremediasi* merupakan proses penurunan kadar polutan tanah dengan menggunakan tanaman sebagai indikator dalam menemukan polutan atau sebagai akumulator untuk remediasi tanah. *Fitoremediasi* merupakan metode yang murah, ekonomis dan ramah lingkungan. Hal ini dapat menurunkan erosi tanah, meningkatkan bahan organik tanah, kesuburan tanah sehingga disebut "*green remediation*" (Widyati, Enny, 2004).

Terdapat 2 mekanisme pendekatan yang dapat dilakukan dalam *fitoremediasi*, yaitu: *kemo-fito-stabilisasi* (pada pendekatan ini senyawa kimia diaplikasikan terlebih dahulu untuk mengikat polutan dan untuk memperbaiki pH sehingga dapat menurunkan mobilitas polutan. Tahap berikutnya adalah menanam tanaman terutama rumput dan semak untuk menciptakan penutup biologis pada lahan yang terkontaminasi). Pendekatan yang kedua adalah *induced-phyto-extraction*, yaitu menanam *accumulating plant* dan dibiarkan tumbuh dalam jangka waktu tertentu. Selanjutnya tanah diberikan perlakuan khusus untuk meningkatkan penyerapan polutan oleh tanaman (Widyati, Enny, 2004).

Pada prinsipnya terdapat beberapa mekanisme dalam proses *fitoremediasi*, yaitu:

- Tanaman mengeluarkan enzim akar misalnya asam amino, asam-asam organik atau senyawa lain yang dapat langsung mengimobilisasi polutan.
- Tanaman berasosiasi dengan mikroba (mengeluarkan enzim yang dapat memacu pertumbuhan mikroba tertentu) dan mikroba yang aktif melakukan remediasi.
- Tanaman menstabilisasi polutan pada sistem perakarannya atau
- Tanah mengabsorpsi polutan dan diakumulasikan pada jaringan tanaman (Setiadi dalam Widyati, Enny, 2004)

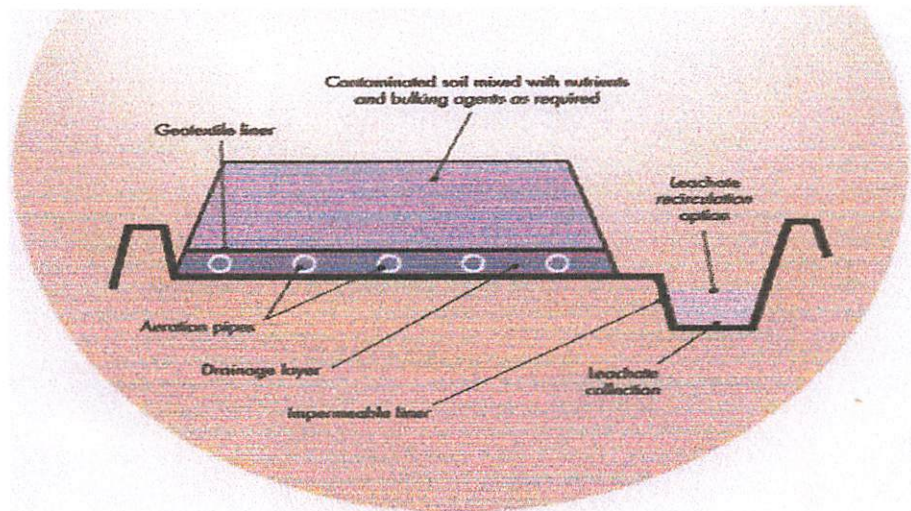
#### 2.2.3.2 Bioremediasi *Ex-Situ*

Teknik bioremediasi yang dapat diterapkan secara *ex-situ* antara lain:

##### a) *Biopiling*

*Biopiling* juga dikenal sebagai *biocell*, *bioheaps* (timbunan/tumpukan), *biomounds* dan *compos pile*. Digunakan untuk mengurangi konsentrasi dari polutan dalam tanah yang digali melalui proses biodegradasi. Teknologi ini meliputi menimbun tanah tercemar menjadi gundukan-gundukan (dalam bentuk baris memanjang) dan menstimulasi aktifitas mikroba aerobik dalam tanah melalui proses aerasi dan/atau penambahan mineral, nutrisi dan kelembapan. Aktifitas mikroba yang tinggi berakibat pada degradasi polutan teradsorpsi selama proses pernafasan mikroba.



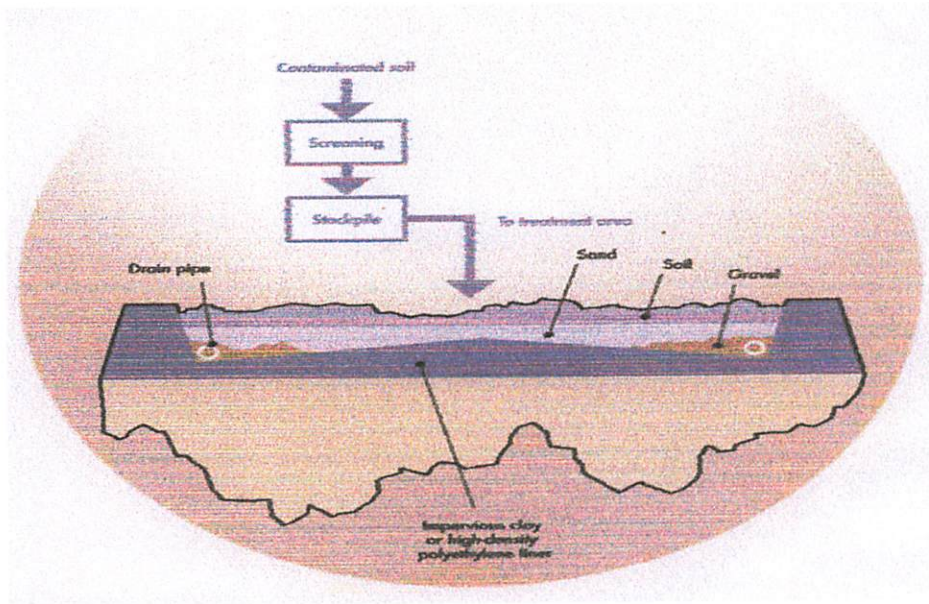


Gambar 2.4  
Proses *Biopiling*

b) *Land farming*

Pada prinsipnya, teknik *land farming* dirancang untuk mengoptimasikan degradasi polutan dengan proses aerobik. Seperti halnya suatu pertanian, teknik ini mengembangkan atau memelihara mikroorganisme untuk menggunakan polutan sebagai sumber energinya, sehingga polutan terdegradasi. Proses degradasi dioptimalkan dengan melakukan aerasi, pemberian nutrisi atau zat aditif tambahan, dan memberikan kondisi lingkungan yang menunjang, seperti halnya pH. Nutrisi yang ditambahkan adalah zat yang diperlukan untuk pertumbuhan sel. Mikroorganisme yang ada di lokasi perlu dibantu untuk lebih optimum dalam memanfaatkan polutan target sebagai sumber energinya.

Cara lain dalam *land farming* adalah dengan meletakkan tanah terkontaminasi yang digali ke atas suatu lahan yang telah dipersiapkan terlebih dahulu. Pada prinsipnya, penyiapan lahan dimaksudkan untuk mencegah peresapan *leachate*, dengan membuat lapisan kedap air (biasanya lempung atau *clay liner*), sistem drainase, dan pelindung terhadap lapisan lempung tersebut. *Leachate* yang dialirkan melalui pipa drainase kemudian dikumpulkan dalam penampungan dan diolah sebelum dibuang.



Gambar 2.5

Proses *Land Farming*

c) Pengomposan (*Composting*)

Pengomposan merupakan teknik pengolahan limbah secara biologis yang paling tua. Teknik ini pada mulanya digunakan untuk pengolahan limbah domestik seperti sampah. Dalam sistem pengomposan, selain kandungan dan komposisi nutrisi yang baik, diperlukan juga kelembapan yang tepat. Untuk pengomposan kontaminan hidrokarbon, kadar air (berat) yang baik adalah sekitar 60 %.

Pada prinsipnya teknik ini sama dengan *land farming*, dan memanfaatkan proses degradasi aerobik. Untuk memperoleh transfer udara atau oksigen yang baik, pada tanah ditambahkan "*bulking agent*" seperti misalnya potongan kayu atau gergajian kayu bahkan daun-daunan. Dengan adanya *bulking agent* ini porositas tanah yang akan diolah menjadi baik, sehingga pergerakan udara yang mengandung oksigen lebih baik.

## **2.3 Biopiling**

Pada tanah yang digunakan untuk *biopiling* biasanya akan ditemukan organisme dalam keadaan aerobik. Organisme yang sering ditemukan adalah jenis bakteri dengan jenis yang beragam. Bakteri menggunakan karbon sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Selain karbon sebagai sumber energi, bakteri juga menggunakan nitrogen dan fosfor.

Degradasi minyak bumi dapat dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme seperti bakteri, beberapa khamir, jamur, *cyanobacteria* dan alga biru. Mikroorganisme ini mampu menguraikan komponen minyak bumi karena kemampuannya mengoksidasi hidrokarbon dan mejadikan hidrokarbon sebagai donor elektronnya. Mikroorganisme ini berpartisipasi dalam pembersihan tumpahan minyak dengan mengoksidasi minyak bumi menjadi gas karbon dioksida. Sebagai contoh bakteri pendegradasi minyak bumi akan menghasilkan bioproduk seperti asam lemak, gas, surfaktan dan biopolymer yang dapat meningkatkan porositas dan permeabilitas batuan reservoir formasi klastik dan karbonat apabila bakteri ini menguraikan minyak bumi.

Teknik *biopiling* sangat efektif digunakan pada tanah yang tercemar oleh hidrokarbon petroleum seperti bensin, solar, minyak pelumas dan bahan baker jet. Oksigen ditambahkan untuk menstimulasi pertumbuhan mikroba melalui sistem aerasi, sistem irigasi digunakan untuk mengontrol *leachate* dan sistem injeksi nutrisi digunakan untuk menyediakan nutrisi bagi mikroba. *Biopiling* direncanakan untuk mengoptimalkan kondisi aerobik bakteri yang digunakan untuk mendegradasi polutan organik.

### **2.3.1 Faktor Pembatas *Biopiling***

- a. Jenis bahan pencemar, konsentrasi dan tingkat pencemaran.
- b. Tingkat pertumbuhan mikroba pendegradasi hidrokarbon.
- c. Parameter fisik dan kimia: pH, suhu, nitrogen, fosfor, tingkat kelembapan dan salinitas.
- d. Perlakuan tanah untuk mempercepat proses biodegradasi.

### 2.3.2 Keuntungan dan Kerugian

Keuntungan dari teknik *biopiling* antara lain:

- a. *Biopiling* adalah sebuah teknik remediasi yang telah teruji.
- b. Membutuhkan biaya yang murah dan tingkat keberhasilan yang tinggi.
- c. *Biopiling* merupakan suatu proses yang fleksibel untuk mendegradasi hidrokarbon dalam tanah tercemar baik dalam skala kecil atau besar.
- d. Bahan pencemar sangat mudah didegradasi menjadi karbon dioksida dan air.

Kerugian dari teknik *biopiling* antara lain:

- a. Tidak terlalu efektif dalam mendegradasi hidrokarbon dalam kadar >50,000 ppm total petroleum hidrokarbon.
- b. Memerlukan lapisan pelindung tambahan jika *leachate* dari *biopiling* dihasilkan.
- c. Adanya konsentrasi logam berat >2,500 ppm dapat menghalangi pertumbuhan mikroba.  
(EPA, 2005)

### 2.3.3 Sistem Desain *Biopiling*

Beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat mendesain *biopiling*, antara lain:

#### 1) Persiapan lokasi *biopiling*

Lokasi yang dipilih untuk pengolahan tanah dan konstruksi *biopiling* harus menyediakan lahan yang cukup luas, mempunyai permukaan yang datar/rata, bebas dari halangan (batu-batuan besar, reruntuhan/puing-puing), dan memiliki peralatan pendukung serta infrastruktur yang memadai untuk kebutuhan *biopiling*. Kemudahan akses jalan dan jembatan sebagai penunjang untuk jalan truk pengangkut tanah harus pula tersedia. Selain itu sistem elektrikal sangat dibutuhkan untuk keperluan *blower*, pompa dan peralatan lainnya (Fahnestock, Von; Wickramanayake, Kratzke, Major, 1998).

## 2) Konstruksi lapisan dasar *biopiling*

Lapisan dasar *biopiling* mempunyai 3 fungsi, yaitu:

- a. Menyediakan pondasi yang stabil untuk mendukung *biopiling*.
- b. Sebagai penghalang untuk potensi penyebaran polutan ke dalam lapisan tanah yang ada di bawahnya.
- c. Menyediakan tingkat kemiringan 1% lebih tinggi, untuk mencegah genangan *leachate* pada dasar *biopiling*.

Lapisan dasar *biopiling* terdiri atas: pondasi yang terbuat dari tanah atau tanah liat, lapisan kedap air, tanggul penahan *leachate* dan lapisan pasir bersih. Ketebalan optimal dari dasar tanah berkisar 15.2–25.4 cm. Tanah dengan rongga pori yang besar harus dipadatkan sampai dengan 80-85 %. Idealnya, dasar *biopiling* harus mempunyai kemiringan kira-kira 1–2 % lebih tinggi dari pengumpul *leachate*. Pondasi dasar harus dibangun kira-kira 0.9 m lebih luas dari dasar *biopiling*, yang berfungsi menyediakan tempat untuk sistem aerasi, irigasi dan tanggul.

Untuk *biopiling* permanen lapisan kedap air dapat dipasang di bawah dasar tanah yang dipadatkan. Sebagai pengganti tanah, *biopiling* dapat juga dibangun di tempat yang sudah ada, seperti area parkir atau halaman-halaman tempat penyimpanan barang. Untuk mengurangi potensi penyebaran polutan, dasar *biopiling* sementara (*temporary biopile*) harus dilapisi dengan lapisan kedap air (Fahnestock, Von; Wickramanayake; Kratzke; Major, 1998).

## 3) Sistem aerasi

Untuk memaksimalkan degradasi polutan, *biopiling* harus cukup mendapat suplai aliran udara. Jadi sistem aerasi merupakan faktor kesuksesan *biopiling*. Komponen dasar sistem aerasi adalah pompa aerasi, pipa *manifold*, *valve* yang dipasang di setiap cabang *manifold*. Pipa aerasi ditempatkan didasar lapisan tanah bersih dan disambungkan ke ujung *manifold*. Setiap cabang pipa aerasi disambung ke *manifold* menggunakan *gate valve*. *Valve* digunakan untuk mengatur aliran udara ke tiap cabang pipa. Sistem suplai udara ada 2 macam, yaitu:

#### a. Sistem pasif

Sistem pasif merupakan sistem yang sederhana. Pipa aerasi, yaitu pipa yang telah diberi lubang-lubang kecil dipasang dengan variasi ketinggian tertentu. Ujung pipa harus cukup panjang sampai di luar *piling*, sehingga suplai udara yang dibutuhkan dapat terpenuhi. Sistem pasif mengurangi biaya awal dan biaya operasi, karena tidak menggunakan *blower* sehingga dapat mengurangi potensi *piling* menjadi kering karena tingkat udara yang rendah (Fahnestock, Von; Wickramanayake, Kratzke, Major, 1998).

#### b. Sistem aktif

Sistem aktif lebih baik, karena sistem ini lebih lengkap dan kecepatan aliran udara yang dialirkan ke *piling* dapat dikontrol. Sistem aerasi aktif dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

- Injeksi

Menggunakan pipa berlubang yang disambungkan ke *blower* untuk mendorong udara ke dalam *piling*. Dari segi biaya dan perspektif operasional, sistem injeksi lebih sering digunakan karena tidak memerlukan sistem *off-gas treatment*, *blower* tidak membutuhkan pemasangan sistem *water knockout* untuk melindungi kondensasi gas di pipa *exhaust* dan kemungkinan timbulnya *leachate*.

- Ekstraksi

Sistem ini menggunakan pipa berlubang-lubang yang dipasang di dalam *piling*. Pipa tersebut disambungkan ke *blower* untuk menghembuskan udara ke sekeliling *piling*. Sistem ekstraksi membutuhkan *water knockout tank*, *cyclone separator*, *water collection tank* dan *exhaust gas treatment*. Sistem ekstraksi lebih baik digunakan ketika faktor penguapan senyawa organik harus diperhatikan (Fahnestock, Von; Wickramanayake, Kratzke, Major, 1998).

#### 4) Sistem nutrisi

*Biopiling* bekerja untuk mendegradasi polutan melalui aktifitas mikroorganisme dalam *piling* yang menggunakan polutan sebagai sumber



karbon dan energi. Organisme membutuhkan suplai karbon untuk membentuk biomass. Polutan dan bahan organik alami yang tersedia dalam tanah telah menyediakan cukup banyak jumlah karbon, akan tetapi ketersediaan nutrisi penting lainnya seperti natrium, fosfor dan potasium mungkin tidak akan cukup banyak dibandingkan dengan jumlah karbon yang ada. Biasanya, konsentrasi C:N:P berkisar antara 100:10:1 sampai 100:10:0.5 (Fahnestock, Von; Wickramanayake, Kratzke, Major, 1998).

Nutrisi dapat dilarutkan dalam air kemudian disemprotkan ke puncak *piling* atau digunakan dalam bentuk bubuk dan dicampurkan dengan tanah ketika *piling* sedang dibangun. Umumnya tanah dicampur dengan nutrisi sebelum membangun *biopiling*. Akan tetapi, nutrisi juga dapat ditambahkan selama proses *biopiling* berlangsung. Penambahan nutrisi dapat dikombinasikan dengan sistem penambahan kelembapan. Ketika *piling* menjadi lebih kering, kita dapat melarutkan nutrisi dalam air dan ditambahkan ke *piling* dengan cara disemprot atau melalui sistem rembesan. Selanjutnya larutan nutrisi akan merembes ke seluruh *piling* (Brown dan Cartwright dalam Fahnestock, Von; Wickramanayake, Kratzke, Major, 1998)

Ketika menambahkan nutrisi ke *piling* dalam bentuk larutan, harus dilakukan dengan hati-hati supaya tidak membuat tanah menjadi terlalu basah dan tidak akan menimbulkan *run-off*. Untuk jenis tanah yang dapat menyerap dengan baik atau jenis tanah yang permukaannya akan menjadi keras bila dalam kondisi basah, penambahan nutrisi dalam bentuk kering akan lebih efektif dilakukan selama membuat *piling*.

#### 5) Penambahan kelembapan

Mikroorganisme membutuhkan kelembapan untuk mentransport nutrisi, untuk melangsungkan proses metabolik dan untuk membantu perbaikan struktur sel. Jika kandungan kelembapan dalam *piling* terlalu tinggi, bahan penggembur kering dapat dicampur dengan tanah, pupuk dapat dipilih untuk menambah atau mengurangi kelembapan (Fahnestock, Von; Wickramanayake, Kratzke, Major, 1998). Kandungan kelembapan dalam *biopiling* akan berubah sejalan dengan proses remediasi, pada kondisi normal

udara akan menghasilkan kelembapan relatif kurang dari 100 %, udara cenderung akan memecah kelembapan pada saat mengalir ke seluruh *piling* dan menjadi jenuh dengan air. Hal ini mengurangi tingkat kandungan kelembapan, pada saat yang bersamaan proses biodegradasi akan mengubah hidrokarbon menjadi karbon dioksida dan air, proses ini dapat menggantikan kandungan kelembapan dengan tingkat yang sama.

U.S EPA menganjurkan kandungan kelembapan dijaga antara 40-85 % dari *field capacity*, hal ini dilakukan karena diasumsikan tanah akan menjadi kering 1-2 % selama proses konstruksi dan proses *biopiling*. Penambahan air selama proses *biopiling* akan menyebabkan tanah berkembang menjadi 70-90 % dari *field capacity* yang ada.

Penambahan air dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

a. Menyiram air ke tanah pada saat masih dalam bak penyimpanan

Pada saat tanah masih dalam bak penyimpanan, tanah dapat di siram menggunakan selang karet yang dihubungkan dengan *sprinkler* atau dengan menggali lubang dengan menggunakan *hand auger* dan mengisi lubang tersebut dengan air. Hal ini akan dapat mencukupi sejumlah besar kebutuhan air yang diinginkan dalam *piling*.

b. Menambah air selama proses konstruksi

Jika jenis tanah adalah keras atau terlalu padat untuk proses penyerapan tanah secara cepat maka sistem irigasi dari puncak *piling* dapat menyebabkan *run-off* yang berlebihan. Menambahkan air selama proses konstruksi *piling*, merupakan metode yang efektif.

c. Memasang sistem aerasi di dasar *piling* (*Dripline*)

Sistem rembesan (*dripline*) dapat diaplikasikan dengan laju kecepatan aliran yang sangat rendah untuk mencegah terbentuknya kubangan air atau *run-off* yang akan dihasilkan melalui penggunaan laju kecepatan aliran yang tinggi. *Dripline* dapat didesain, jadi air akan merembes ke seluruh *piling* secara merata.

Sistem *dripline* mempunyai keuntungan, yaitu:

- Merupakan metode yang efektif untuk penambahan air ke *biopiling* setelah *piling* ditutup.



- Tingkat kecepatan aliran yang rendah dapat meminimalkan *run-off* air dari *piling*.
- Sistem dapat dioperasikan dengan mudah tanpa memerlukan tenaga supervise.
- Irigasi dengan metode ini dapat dilakukan untuk sistem distribusi air.

Sistem *dripline* mempunyai kerugian, yaitu:

- Biaya merupakan salah satu faktor yang tidak dibutuhkan oleh sistem irigasi tipe lainnya.
- Membutuhkan waktu untuk memasang instalasi.
- Jaringan pipa dapat patah dan menimbulkan *leachate*.

#### 6) Sistem pengumpul *leachate* (Opsional)

Pengumpul *leachate* biasanya terdiri dari tanggul yang mengelilingi *piling*, pipa berlubang yang terletak di dasar *piling*, pompa penghisap *leachate* yang dihubungkan dengan pipa drainase dan bak pengumpul *leachate*. Untuk *biopiling permanent*, harus memasang sistem pengumpul *leachate*. Sedangkan untuk *biopiling* dengan skala kecil, sistem pengumpul *leachate* dapat disambung langsung ke sistem ekstraksi uap air (*vapor extraction system*).

Jika harus memasang sistem pengumpul *leachate*, maka harus dipasang dengan kemiringan dasar *biopiling* menuju ke- 1 sudut, dari *piling* ke saluran *leachate* ke pipa pengumpul *leachate* atau lebih baik lagi melalui pipa pengumpul *leachate* dan pipa sistem aerasi yang digabung. Jika menggunakan pipa pengumpul terpisah, ujung pipa langsung menuju ke tangki pengumpul *leachate*. Tangki pengumpul *leachate* yang digunakan harus dipasang/ditempatkan satu tingkat dibawah pondasi *biopiling* dan harus dilapisi dengan lapisan kedap air seperti sebuah tangki plastik. Tangki juga harus diletakkan di area yang memadai, seperti adanya tanggul dan pondasi yang cukup luas untuk menampung volume dari tangki. Sebuah pompa akan dibutuhkan untuk menyalurkan *leachate* dari pipa pengumpul ke tangki pengumpul yang letaknya di atas tanah. Ketika sistem pengumpul *leachate*

dan sistem irigasi *biopiling* dipasang secara bersamaan, *leachate* dapat digunakan kembali ke *piling* dengan menggunakan pipa irigasi.

### 2.3.4 Nilai Baku Mutu Untuk Teknik *Biopiling*

Tabel 2.1 berikut adalah tabel yang menjelaskan nilai baku mutu (dinyatakan dalam ppm) untuk polutan utama yang ditemukan dalam tanah tercemar oleh petroleum hidrokarbon, yang menggunakan teknik *biopiling* untuk proses remediasi.

Tabel 2.1

Nilai Baku Mutu Untuk Pengolahan *Biopiling*

Senyawa	(ppm) <sup>(a)</sup>
Benzene	10
Ethylbenzena	100
Toluene	50 <sup>(b)</sup>
Xylenes	100
Gasoline	300
V.M. & P. naphtha <sup>(c)</sup>	300

(a) American Conference Of Governmental Industrial Hygienist, 1995.

(b) Skin contact.

(c) Varnish Makers and Painters naphtha, a petroleum distillate

*Sumber: Biopile Design, Operation, And Maintenance Handbook For Treating Hydrocarbon Contaminated Soil (Fahmestock, Von; Wickramanayake, Kratzke, Major, 1998).*

## 2.4 Minyak Bumi

Minyak bumi terbentuk sebagai hasil akhir dari penguraian bahan-bahan organik (sel-sel dan jaringan hewan/tumbuhan laut) yang tertimbun selama berjuta tahun di dalam tanah, baik di daerah daratan maupun di daerah lepas pantai. Hal ini menunjukkan bahwa minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Di Indonesia, minyak bumi banyak terdapat di bagian utara Pulau Jawa, bagian timur Kalimantan dan Sumatera, daerah kepala burung Papua,

serta bagian timur Seram. Minyak bumi juga diperoleh di lepas pantai Jawa dan timur Kalimantan (Nugroho Hadi, Spto, 2005).

#### **2.4.1 Arti Minyak Bumi**

Minyak dan gas bumi adalah istilah Indonesia yang pemakaiannya telah mendarah daging. Dalam beberapa bahasa lain, diantaranya Inggris, istilah yang dipergunakan adalah *petroleum*, yang berasal dari kata *petro*, batu dan *oleum*, minyak. Jadi arti 'petroleum' sebenarnya adalah minyak batu. Istilah yang juga sering digunakan adalah minyak mentah, dalam bahasa Inggris *crude oil*. Minyak mentah berarti minyak yang belum dikilang, jadi yang masih terdapat dalam kerak bumi (Koesomodinata, 1980).

#### **2.4.2 Kandungan Minyak Bumi**

Minyak bumi kasar (baru keluar dari sumur eksplorasi) mengandung ribuan macam zat kimia yang berbeda baik dalam bentuk gas, cair maupun padatan. Bahan utama yang terkandung di dalam minyak bumi adalah hidrokarbon alifatik dan aromatik. Minyak bumi mengandung senyawa nitrogen (N) antara 0-0.5 %, belerang (S) 0-6 % dan oksigen (O) 0-3.5 %. Terdapat sedikitnya empat seri hidrokarbon (Hc) yang terkandung di dalam minyak bumi, yaitu seri n-parrafin (n-alkana) yang terdiri atas metana ( $\text{CH}_4$ ) sampai aspal yang memiliki atom karbon (C) lebih dari 25 pada rantainya, seri iso-parrafin (isoalkana) yang terdapat hanya sedikit dalam minyak bumi, seri neptena (sikloalkana) yang merupakan komponen kedua terbanyak setelah n-alkana dan seri aromatik (benzenoid).

Komposisi senyawa hidrokarbon pada minyak bumi tidak sama, bergantung pada sumber penghasil minyak bumi tersebut. Misalnya, minyak bumi Amerika komponen utamanya adalah hidrokarbon jenuh, yang digali di Rusia banyak mengandung hidrokarbon siklik, sedangkan yang terdapat di Indonesia banyak mengandung senyawa aromatik dan kadar belerangnya sangat rendah (Nugroho Spto, Hadi, 2005).

### 2.4.3 Susunan Kimia Minyak Bumi

Hidrokarbon yang terdapat di dalam minyak bumi merupakan berbagai macam seri homolog. Yang dimaksud dengan homolog adalah suatu seri susunan hidrokarbon yang berdasarkan penambahan atom C membentuk suatu susunan yang hampir sama akan tetapi rantainya menjadi lebih panjang atau pun lingkarannya lebih rumit.

Pada umumnya seri homolog dalam minyak bumi dapat dibagi menjadi 2 golongan besar, yaitu:

1. Golongan asiklis atau alifat (juga disebut alkana atau paraffin)

Paraffin adalah senyawa dengan afinitas yang kecil. Seri ini dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu:

a. Seri paraffin normal (n-paraffin)

Merupakan 25 % dari kandungan suatu jenis minyak bumi, tidak termasuk fraksi gas-gasnya. Minyak bumi yang bersifat ringan dan paraffin, biasanya mengandung  $C_5$  sampai  $C_{20}$  sebagai penyusun utama. Sedangkan minyak bumi yang lebih berat bisa menurun menjadi 0.7 sampai 0.1 % (Bestougeff dalam Koesomadinata, 1967).

b. Seri iso-paraffin (iso-paraffin)

Golongan hidrokarbon ini biasanya terdapat dalam fraksi ringan ( $C_{17}$ - $C_{20}$ ). Setelah  $C_{20}$  keatas konsentrasi paraffin sangat berkurang. Sedangkan di atas  $C_{25}$  jarang sekali ditemukan iso-paraffin.

2. Golongan siklis

Golongan ini dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu seri naftena (siklo-paraffin), seri aromatik dan seri aromatik-sikloparaffin-polisiklis (termasuk kompleks aspal).

a. Seri naftena (siklo-paraffin)

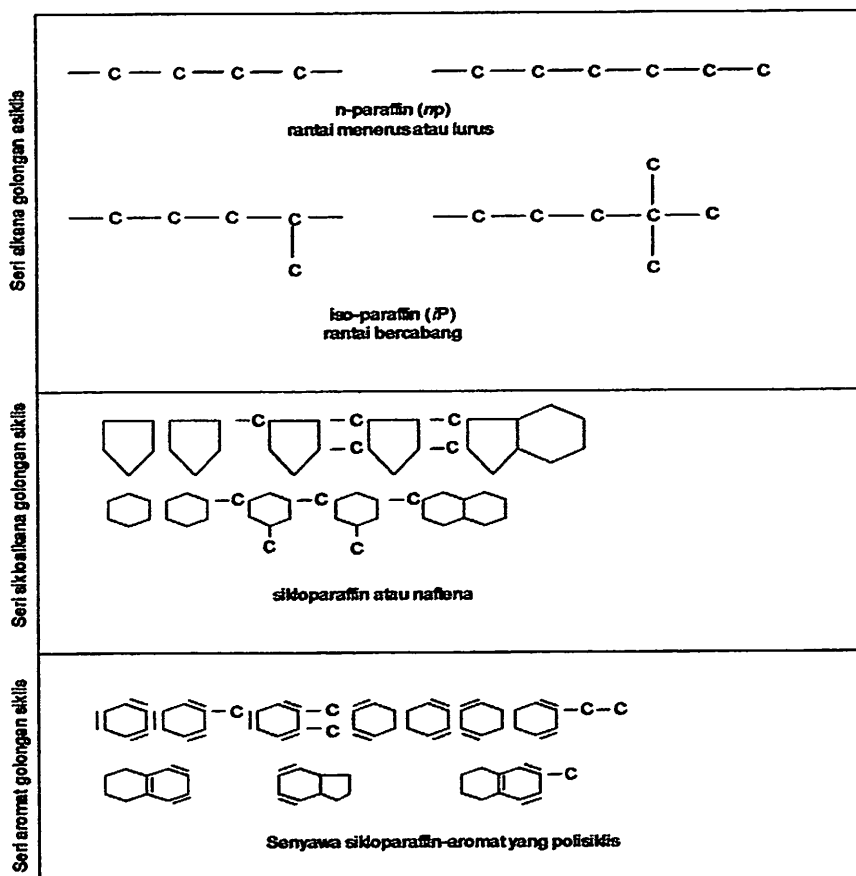
Merupakan salah satu golongan hidrokarbon siklis. Kadar siklo-paraffin di dalam minyak bumi di seluruh dunia bervariasi antara 30 sampai 60 % sehingga siklo-paraffin merupakan senyawa penyusun utama minyak bumi.

b. Seri aromatis

Senyawa aromatis merupakan senyawa-senyawa cincin atau mempunyai gugus alkil dari aromatis alami pada strukturnya. *Aromatis* adalah suatu hidrokarbon siklis yang berstruktur khas cincin aromatis, terdiri dari 6 atom C berbentuk cincin yang sebagian dari valensinya bersifat tidak jenuh, tetapi membentuk suatu struktur *Kekule*. Struktur *Kekule* adalah struktur yang memperlihatkan ikatan rangkap antara atom-atom di cincin.

c. Seri aromatis-sikloparafin-polisiklis

Golongan ini merupakan golongan tersendiri di dalam minyak bumi dan didapatkan dari fraksi titik didih yang lebih tinggi. Golongan ini merupakan molekul yang strukturnya terdiri dari beberapa cincin aromatis yang bergabung dengan cincin naftena (siklo-parafin)



Gambar 2.6

Seri Homolog Hidrokarbon Utama Dalam Minyak Bumi

(Diadaptasi dari Welte, 1965, hal: 247)

## 2.4.4 Jenis Hidrokarbon Yang Dapat Didegradasi Oleh Mikroba

### a. Hidrokarbon alifatik

Mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon rantai lurus dalam minyak bumi ini jumlahnya relatif kecil dibandingkan dengan pendegradasi hidrokarbon aromatik. Diantaranya adalah *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Mycrobacterium*, khamir tertentu dan jamur. Penggunaan hidrokarbon alifatik jenuh merupakan proses aerob (menggunakan oksigen). Langkah pendegradasian hidrokarbon alifatik jenuh oleh mikroorganisme meliputi oksidasi molekular ( $O_2$ ) sebagai sumber reaktan dan penggabungan satu atom oksigen ke dalam hidrokarbon teroksidasi.

### b. Hidrokarbon aromatik

Senyawa ini banyak digunakan sebagai donor elektron secara aerobik oleh mikroorganisme seperti bakteri dari Genus *Pseudomonas*. Metabolisme senyawa ini oleh bakteri diawali dengan pembentukan *Protocatechuate* atau *athecoul* atau senyawa yang secara struktur berhubungan dengan senyawa ini. Kedua senyawa ini selanjutnya didegradasi menjadi senyawa yang dapat masuk ke dalam siklus *Krebs* (siklus asam sitrat), yaitu *suksinat*, *asetil KoA*, dan *piruvat*.

## 2.5 Senyawa Benzena

### 2.5.1 Sifat Kimia Dan Fisika Senyawa Benzena

Senyawa benzena mempunyai warna bening sampai kuning terang, merupakan larutan yang mudah terbakar dengan karakteristik bau aromatik.

Beberapa sifat kimia dan fisika dari senyawa benzena adalah sebagai berikut:

- Bentuk molekul :  $C_6H_6$
- Berat molekul : 78.11
- Titik lebur :  $5.5^\circ C$
- Titik didih :  $80.1^\circ C$
- Berat jenis : 0.8786 pada suhu  $20^\circ C$
- Solubilitas : sedikit larut dalam air, dapat dicampur dengan alkohol, kloroform, diethyl ether, acetone.

- Faktor konversi :  $1 \text{ ppm} = 3.19 \text{ mg/m}^3$   
 $1 \text{ mg/m}^3 = 0.313 \text{ ppm}$
- Konstanta Henry's :  $5.55 \times 10^{-3} \text{ atm.m}^3/\text{mole}$
- Penjelasan : berwarna bening sampai kuning terang, merupakan larutan yang mudah terbakar dengan karakteristik bau aromatik.

(Chamberlain, Skip, 1999).

### 2.5.2 Sumber Pencemaran Senyawa Benzena

Pada mulanya, senyawa benzena dihasilkan melalui proses karbonisasi batu bara, tetapi sekarang paling banyak berasal dari petroleum atau siklisasi dan aromatisasi dari hidrokarbon paraffin. Benzena terdapat dalam minyak gemuk, tinta, minyak, cat, plastik dan karet. Senyawa benzena merupakan bahan penting untuk pabrik kimia seperti dammar, plastik, nilon-66, *polyamides*, *styrene*, juga digunakan untuk membuat detergen, bahan peledak dan keperluan farmasi (Chamberlain, Skip, 1999).

Senyawa benzena yang berada di atmosphere, terutama dihasilkan melalui emisi pabrik. Udara di sekitar pabrik yang menggunakan atau menghasilkan senyawa benzena, diperkirakan akan mengandung senyawa benzena dengan konsentrasi yang tinggi. Selain emisi pabrik, pipa knalpot kendaraan yang menggunakan bensin juga diketahui menghasilkan senyawa benzena. Sumber lain menjelaskan bahwa  $57 \mu\text{g}$  senyawa benzena terdapat dalam asap rokok yang mengandung  $16 \text{ mg}$  Tar dan Nikotin. Senyawa benzena juga ditemukan pada beberapa jenis makanan, akan tetapi datanya terlalu sedikit untuk menunjukkan bukti dari penyelidikan terhadap makanan yang terkontaminasi (Chamberlain, Skip, 1999).

Penelitian terhadap udara tercemar yang dilakukan disekitar kilang minyak *Czechowice* di *Czechowice-Dziedzie, Polandia* dari bulan May sampai bulan Oktober 1996 menunjukkan angka rata-rata konsentrasi senyawa benzena pada udara disekitar kilang minyak berkisar antara  $5,7 \mu\text{g/m}^3$  (bulan May) sampai  $11 \mu\text{g/m}^3$  (bulan Juni) (Chamberlain, Skip, 1999).

### 2.5.3 Efek Senyawa Benzena Terhadap Kesehatan Mamalia dan Manusia

Diperkirakan pada manusia dewasa yang terpapar sebanyak 10 ppm, diketahui sebanyak 7,5  $\mu\text{L}/\text{jam}$  melalui pernafasan dan sebanyak 1,5  $\mu\text{L}/\text{jam}$  melalui pori-pori kulit. Sekitar 46 % senyawa benzena yang dihirup akan diadsorpsi oleh paru-paru. Karena tingginya daya larut senyawa benzena, konsentrasi tertinggi akan ditemukan pada otak dan pada jaringan lemak. Senyawa benzena akan diurai di liver kemudian di ekstraksi melalui urin, dengan 51-87 % sebagai *phenol*, 6 % sebagai *catechol*, 2 % sebagai *hydroquinone*. Pada konsentrasi 300 mg/kg, sekitar 60 % dikeluarkan pada saat kita bernafas dan 40 % diekstraksi melalui urin (Chamberlain, Skip, 1999).

Menghirup senyawa benzena sebanyak 20.000 ppm diudara selama 5-10 menit akibatnya akan sangat fatal. Pemaparan senyawa benzena secara terus-menerus terhadap manusia akan menyebabkan perubahan di dalam darah, contohnya *leukemia*, terutama *myelogeneous leukemia* akut dan *lymphocytic leukemia* kronis. Terpapar lebih dari 3.000-ppm dapat menyebabkan iritasi pada mata dan saluran pernafasan. Jika terpapar lebih lanjut lagi akan menyebabkan *euphoria*, *nausea* (mual), jantung berdebar-debar dan koma. Menghirup dengan konsentrasi yang lebih rendah akan menyebabkan *vertigo*, efek mengantuk, sakit kepala dan mual. Penelitian yang dilakukan terhadap pekerja yang terpapar 100 ppm senyawa benzena, menghasilkan laporan bahwa terdapat 140 lebih kasus kematian karena *leukemia* per 1000 orang pekerja yang terpapar, dan terdapat 14 sampai 104 kasus kematian karena *leukemia* terhadap pekerja yang terpapar 10 ppm senyawa benzena (Chamberlain, Skip, 1999).

Tikus yang menghirup uap senyawa benzena selama beberapa minggu dengan konsentrasi 50 ppm menyebabkan berkurangnya sel darah merah dan putih. Terpapar dengan konsentrasi lebih dari 100 ppm menyebabkan *leucopenia*. Bukti karsinogenetik pada tikus terdapat di beberapa jaringan, seperti: adrenal, paru-paru, liver, indung telur, rongga mulut, perut dan kulit. Dari penelitian yang dilakukan menjelaskan bahwa senyawa benzena menyebabkan *athrophia* pada ovarium, kista, *hyperplasia* dan *neoplasia* pada tikus. 1-ppm senyawa benzena yang dihirup oleh tikus menyebabkan penyimpangan kromosom di spermatosit dan kromatid di spermatogonia (Chamberlain, Skip, 1999).



## **2.6 Mikroorganisme**

### **2.6.1 Proses Biologis Dalam Tanah**

Tanah merupakan suatu ekosistem yang mendukung kehidupan flora maupun fauna. Diantara organisme yang penting dan perlu mendapat perhatian dalam kaitannya dengan keberadaan zat pencemar dalam tanah adalah mikroorganisme. Mikroorganisme yang terdiri dari berbagai macam jenis ini mampu mengubah atau melakukan transformasi biotis terhadap polutan, terutama polutan organik.

Mikroorganisme mempunyai susunan tubuh yang sederhana, hanya terdiri dari beberapa sel (*multisellular*), bahkan mayoritas terdiri dari satu sel (*unisellular*). Hampir semua bakteri dan protozoa yang hidup dalam tanah atau air tanah adalah *unisellular*, sedangkan untuk jamur, alga (ganggang) umumnya *multisellular*, walaupun ada yang *unisellular*. Mereka hidup menempel pada partikel tanah. Kelompok yang dominan dalam tanah adalah bakteri dan jamur (Notodarmojo, Suprihanto, 2005). Secara kolektif, mikroorganisme dinamakan *protista* (J. Pelczar, Michael., Jr dan Chan, 1986).

### **2.6.2 Konsorsium mikroorganisme**

Mikroorganisme umumnya bekerja sama dalam suatu kelompok yang disebut sebagai konsorsium. Kelompok utama mikroorganisme adalah bakteri (termasuk *cyanobacteria*), fungi, protozoa, alga mikroskopik dan virus (J. Pelczar, Michael., Jr dan Chan, 1986). Suatu kelompok atau konsorsium mikroorganisme diperlukan dan secara alamiah akan terjadi, karena secara sinergis mereka mempunyai kemampuan yang lebih untuk mendegradasi suatu senyawa organik. Hal ini berarti semakin memperbesar kemungkinan untuk memperoleh energi, dan bertahan hidup.

Beberapa keuntungan dari adanya konsorsium mikroorganisme antara lain:

- Konsorsium mikroorganisme dapat melakukan degradasi secara berurutan
- Konsorsium mikroorganisme dapat menghasilkan (mensintesa) zat atau enzim yang dibutuhkan
- Konsorsium mikroorganisme dapat meningkatkan laju degradasi substrat secara keseluruhan

- **Konsorsium mikroorganisme dapat mempermudah oksidasi, karena dapat mencari jalur atau proses yang secara termodinamik paling mudah**

### **2.6.3 Bakteri**

Bakteri bersama dengan jamur merupakan mikroorganisme yang terpenting dalam transformasi zat organik dalam tanah melalui proses metabolisme yang dilakukannya. Ukurannya sekitar 0.5-3  $\mu\text{m}$ , dengan bentuk beraneka ragam, seperti bentuk bulat, tongkat atau spiral. Mereka hidup subur dalam tanah, terutama tanah dengan kelembaban yang mencukupi atau mengandung cukup banyak substrat. Umumnya, diperkirakan tidak kurang dari 1 juta bakteri terdapat dalam 1-gram tanah yang subur dan cukup kelembapannya. Jumlah tersebut berkurang pada penambahan kedalaman tanah (Foth dalam Notodarmojo, Suprihanto, 2005).

Bagian terpenting dari sel bakteri adalah membran dan dinding sel. membran sel merupakan lapisan semipermeabel, yang mengatur masuknya nutrisi dan air ke dalam sel. Bakteri dan *cyanobacteria* termasuk dalam golongan *prokaryotes*, yaitu mikroorganisme yang selnya tidak mempunyai organ inti, sedangkan jamur, alga dan protozoa umumnya *eukaryotes*, yaitu mempunyai sel yang berinti (*nucleus*). Bakteri sendiri dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu:

- *Eubacteria*
- *Myobacteria*
- *Spirochetes*

Pembagian grup ini didasarkan atas struktur dinding sel dan pergerakannya. *Eubacteria* merupakan bakteri yang paling banyak terdapat dalam tanah, dalam bentuk bulat (*cocci*), tongkat (*rod*) dan bentuk *helix*, seperti *vibrio* dan *spirilla*. Bentuk *cocci* seringkali bergabung membentuk rantai bakteri seperti bentuk *diploccoci* atau *streptococci*. Bentuk tongkat merupakan bentuk yang paling umum ditemui, seperti misalnya *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Escherichia* dan *Salmonella*. Contoh bakteri dengan bentuk *vibrio* adalah bakteri yang mampu mereduksi sulfat menjadi sulfide, yaitu *Desulfubrio*. Sedangkan contoh bakteri dengan bentuk *cocoid* dan *helix* misalnya *Streptococcus Faecalis* dan *Campylobacter Jejuni*, yang merupakan bakteri patogen. Pergerakan *eubacteria*

umumnya menggunakan *flagella*, sedangkan *myobacteria* bergerak dengan melayang (*gliding*). Kelompok *spirochetes* bergerak dengan menggunakan *filament*. Ditinjau dari dinding selnya, umumnya mereka mempunyai dinding sel yang fleksibel dan tipis, kecuali *eubacteria* yang tebal dan kaku.

Bioremediasi merupakan salah satu pemanfaatan mikroorganisme untuk memperbaiki tanah dari pencemaran zat-zat yang berbahaya bagi lingkungan seperti hidrokarbon, pelarut organik dan pestisida. Walaupun demikian, produk antara dari metabolisme mikroorganisme yang menggunakan zat berbahaya sebagai sumber energinya mungkin juga masih berbahaya bagi manusia dan lingkungannya. Pada umumnya bakteri hidup bersama dan saling bergantung antara satu jenis dengan jenis lainnya. Mereka membentuk apa yang disebut konsorsium bakteri, sehingga mempunyai kemampuan untuk merombak berbagai jenis zat pencemar jauh lebih banyak bila mereka hidup secara soliter.

#### **2.6.4 Bakteri Pemecah Hidrokarbon**

Jumlah bakteri pemecah hidrokarbon mempunyai korelasi yang kuat dengan kandungan hidrokarbon dari lingkungan hidupnya (Walker dan Collwell dalam Artiyani, Anis, 2000). Bakteri paling penting dalam degradasi zat pencemar dalam tanah antara lain *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Arthrobacter* dan *Bacillus*. Bakteri dari kelompok *actinomycetes* seperti *Nocardia* dan *Mycobacterium* misalnya berperan penting dalam degradasi hidrokarbon yang berasal dari minyak bumi.

#### **2.6.5 Bakteri Gram Positif Dan Bakteri Gram Negatif**

Perbedaan nyata dalam komposisi dan struktur dinding sel antara bakteri gram positif dan gram negatif sangat penting untuk dipahami karena kini diyakini bahwa dinding sel itulah yang menyebabkan kedua kelompok bakteri ini memberikan respon sebagaimana yang kita lihat terhadap berbagai perlakuan dan bahan, seperti pewarnaan Gram dan antibiotik-antibiotik tertentu.

Penjelasan yang paling mungkin mengenai mekanisme pewarnaan Gram didasarkan pada struktur dan komposisi dinding sel bakteri. Bakteri gram negatif mengandung lipid, lemak atau substansi seperti lemak dalam persentase lebih

tinggi daripada yang dikandung bakteri positif. Dinding sel bakteri gram negatif juga lebih tipis daripada dinding sel bakteri gram positif. Bukti-bukti percobaan menyarankan bahwa selama prosedur pewarnaan, perlakuan dengan etanol (alkohol) terhadap bakteri gram negatif menyebabkan terekstraksinya lipid sehingga memperbesar daya rembes atau permeabilitas dinding sel gram negatif. Jadi kompleks ungu kristal-yodium (UK-Y), yang telah memasuki dinding sel selama langkah awal dalam proses pewarnaan, dapat diekstraksi. Karena itu organisme gram negatif kehilangan warna tersebut. Karena kandungan lipidnya yang lebih rendah, dinding sel bakteri gram positif menjadi terdehidrasi selama perlakuan dengan etanol. Ukuran pori-pori mengecil, permeabilitasnya berkurang, dan kompleks UK-Y tidak dapat terekstraksi. Untuk lebih jelasnya, perbedaan bakteri gram positif dan gram negatif dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut:

**Tabel 2.2**  
**Beberapa Ciri Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif**

Ciri	PERBEDAAN RELATIF	
	Gram positif	Gram negatif
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur dinding sel</li> <li>• Komposisi dinding sel</li> <li>• Kerentanan terhadap penisilin</li> <li>• Pertumbuhan dihambat oleh zat-zat warna dasar, misalnya ungu kristal</li> <li>• Persyaratan nutrisi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tebal (15-80 nm) Berlapis tunggal</li> <li>• Kandungan lipid rendah (1-4 %)</li> <li>• Peptidoglikan ada sebagai lapisan tunggal; komponen utama merupakan lebih dari 50 % berat kering pada beberapa sel bakteri</li> <li>• Asam tekoat</li> <li>• Lebih rentan</li> <li>• Pertumbuhan dihambat dengan nyata</li> <li>• Relatif rumit pada banyak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipis (10-15 nm) Berlapis tiga (multi)</li> <li>• Kandungan lipid tinggi (11-22 %) Peptidoglikan ada di dalam lapisan kaku sebelah dalam; jumlahnya sedikit, merupakan sekitar 10 % berat kering</li> <li>• Tidak ada asam tekoat</li> <li>• Kurang rentan</li> <li>• Pertumbuhan tidak begitu dihambat</li> <li>• Relatif sederhana</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistensi terhadap gangguan fisik</li> </ul>	<p style="text-align: center;">spesies</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih resisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurang resisten</li> </ul>
--	---	---

Sumber: Michael J. Pelczar, Jr., dan E. C. S. Chan (1986)

Penjelasan serupa lainnya juga didasarkan pada perbedaan permeabilitas di antara kedua kelompok dinding sel bakteri. Dinding sel bakteri gram negatif mengandung *peptidoglikan* jauh lebih sedikit, dan *peptidoglikan* ini mempunyai ikatan silang yang jauh kurang ekstensif dibandingkan dengan yang dijumpai pada dinding bakteri gram positif. Karenanya, maka pori-pori pada *peptidoglikan* bakteri gram-negatif tetap cukup besar sekalipun setelah perlakuan etanol sehingga memungkinkan ekstraksi kompleks UK-Y. Pada bakteri gram positif, setelah perlakuan etanol, kompleks UK-Y terperangkap didalam dinding, yang tampaknya mengurangi diameter pori-pori pada *peptidoglikan* dinding sel. Bakteri gram negatif relatif lebih rentan terhadap antibiotik-antibiotik seperti *streptomisin*. Bakteri gram positif pada umumnya lebih rentan terhadap antibiotik *penisilin* dan kurang rentan terhadap disintegrasi oleh perlakuan mekanis (seperti diberi tekanan amat tinggi atau getaran-getaran ultrasonik) atau apabila diberi enzim-enzim tertentu.

### 2.6.6 Klasifikasi Mikroorganisme

1. Ditinjau dari sumber energi untuk melakukan metabolismenya, mikroorganisme dapat dibagi mejadi 2 kategori yaitu:
  - a. Mikroorganisme *phototrophs*, yaitu mikroorganisme yang memperoleh energi metabolismenya dari sinar matahari.
  - b. Mikroorgansime *chemotrophs*, yaitu mikroorganisme yang memperoleh energi dari senyawa kimia.
2. Mikroorganisme juga dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber karbon yang digunakannya, seperti:
  - a. Mikroorganisme *autothropis*, yaitu mikroorganisme yang menggunakan CO<sub>2</sub> sebagai sumber utama karbon.
  - b. Mikroorganisme *heterotrophis*, yaitu mikroorganisme yang memanfaatkan zat organik sebagai sumber karbon.

3. Selain itu, mikroorganisme juga dapat dikategorikan berdasarkan sumber elektron (elektron donor) dalam proses metabolismenya, yaitu:
  - a. Mikroorganisme *organotroph*, yaitu mikroorganisme yang menggunakan zat organik sebagai elektron donor dalam proses metabolismenya.
  - b. Mikroorganisme *litotroph*, yaitu mikroorganisme yang menggunakan zat organik sebagai sumber elektron utama dalam proses metabolismenya.
4. Mikroorganisme mempunyai beberapa cara dalam melakukan metabolismenya. Ditinjau dari proses metabolismenya, mikroorganismenya dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:
  - a. Mikroorganisme aerobik, yaitu mikroorganisme yang melakukan metabolisme dengan reaksi aerobik, yaitu reaksi yang terjadi dengan kehadiran molekul oksigen dan molekul oksigen bertindak sebagai elektron akseptor.
  - b. Mikroorganismenya anaerobik, yaitu mikroorganisme yang melakukan metabolisme tanpa adanya molekul oksigen. Reaksi anaerobik dapat dikelompokkan menjadi proses respirasi anaerobik, fermentasi dan fermentasi metana.
  - c. Mikroorganisme fakultatif, yaitu mikroorganisme yang dapat menggunakan oksigen atau komponen lain sebagai elektron akseptor. Akan tetapi, akan tumbuh lebih efisien dalam suasana aerobik.

(Slamet, Agus dan Masduqi, Ali, 2000)

### **2.6.7 *Bacillus Cereus***

#### **A. Klasifikasi**

- Kingdom : Bacteria
- Phylum : Firmicutes
- Class : Bacilli
- Order : Bacillales
- Family : Bacillaceae
- Genus : *Bacillus*
- Spesies : *Cereus*

## B. Pathogenesis

*Bacillus Cereus* adalah bakteri yang bersifat endemik, terdapat dalam tanah, gram positif, berbentuk batang, berjenis fakultatif aerob, dan seperti anggota lainnya dari genus *Bacillus* dapat memproduksi *protective endospores*. *Bacillus Cereus* adalah penyebab dari 2-5% keracunan makanan. Gejala yang ditimbulkan adalah mual dan muntah. Keracunan makanan oleh *Bacillus Cereus* disebabkan karena spora bakteri yang dapat bertahan ketika makanan tidak dimasak dengan cara yang benar. Keadaan ini akan bertambah buruk ketika makanan kemudian dibekukan, yang membuat spora dapat berkembang biak. Pertumbuhan bakteri menghasilkan *enterotoxin* yang menyebabkan dua gejala keracunan makanan, yaitu diare dan muntah.

- Gejala diare: masa inkubasi 8-16 jam, ditandai dengan diare dan *gastrointestinal*.
- Gejala muntah: mual yang diikuti dengan muntah setelah 1-5 jam setelah mengkonsumsi makanan.

(Wikipedia, 2007).

Pada tanggal 21 Juli 1993, *The Lord Fairfax (Virginia) Health District* menerima laporan kasus *gastrointestinal* yang terjadi pada anak-anak dan pekerja yang mengikuti acara makan siang bersama di sebuah panti asuhan. Dari 80 orang, 67 orang mengkonsumsi makan siang nasi dan ayam goreng yang dipesan dari restoran lokal. Keracunan makanan terjadi pada 14 orang dari 48 orang (29%), dibandingkan dengan 16 orang yang tidak mengkonsumsi. Kemudian, *Bacillus Cereus* ditemukan pada sisa nasi dan ayam goreng dan sampel muntahan dari seorang anak (U.S, Food And Drug Administration, 2006).

### 2.6.8 Pertumbuhan Mikroorganisme

Laju pertumbuhan berhubungan langsung dengan konsentrasi sel dan reproduksi sel yang merupakan hasil akhir dari reaksi ini. Pola pertumbuhan mikroorganisme berdasarkan jumlahnya dapat dibagi menjadi tujuh fase (Schuler dan Kargi dalam Widyanto, I Putu, 2006), yaitu:

### 1. Fase adaptasi (*log phase*)

Fase adaptasi terjadi segera setelah inokulasi dilakukan. Fase ini mewakili waktu yang dibutuhkan oleh sel mikroorganisme untuk beradaptasi dan mengaklimatisasi lingkungan yang baru. Mikroorganisme akan mengorganisasi kembali materi molekular yang mereka miliki ketika mikroorganisme tersebut dipindahkan ke media yang baru. Selama fase adaptasi, massa sel hanya sedikit meningkat tapi densitas jumlah sel tidak meningkat. Fase adaptasi, dapat berlangsung dalam jangka waktu yang lama, bila konsentrasi nutrisi dan faktor penunjang pertumbuhan (*growth factor*) tidak mencukupi.

### 2. Fase logaritmit (*log phase*)

Pada fase logaritmik, sel telah beradaptasi dengan lingkungan barunya. Setelah periode adaptasi, sel akan berkembang biak dengan cepat. Massa sel dan jumlah sel akan meningkat secara eksponensial dengan waktu. Karena konsentrasi nutrisi pada fase ini sangat besar maka laju pertumbuhan tidak tergantung pada konsentrasi nutrisi.

### 3. Fase penurunan pertumbuhan (*declining growth*)

Pada fase penurunan pertumbuhan, pertumbuhan sel akan melambat karena berkurangnya satu atau lebih nutrisi penting atau karena adanya akumulasi materi toksik yang merupakan hasil sampingan dari proses pertumbuhan. Untuk mengatasi keterbatasan nutrisi atau akumulasi buangan ini maka akan terjadi restrukturisasi sel agar sel tersebut dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang serba terbatas.

### 4. Fase stasioner (*stationery phase*)

Fase stasioner akan dimulai pada akhir fase penurunan pertumbuhan yaitu ketika laju pertumbuhan sel netto adalah nol atau ketika laju pertumbuhan sel sama dengan laju kematian sel. Pada fase ini, populasi mikroorganisme tidak mengalami perubahan. Meskipun laju pertumbuhan sel netto adalah nol selama fase stasioner, sel tetap aktif melakukan metabolisme non-pertumbuhan. Selama fase stasioner, satu atau lebih fenomena dibawah ini dapat terjadi, yaitu:



- a. Konsentrasi total massa sel tetap konstan, tapi jumlah sel yang dapat bertahan hidup menurun.
- b. Sel mengalami lisis dan massa sel yang dapat bertahan hidup menurun.
- c. Sel tidak mengalami pertumbuhan tapi dapat melakukan metabolisme untuk memproduksi metabolisme sekunder.

#### 5. Fase *increasing death*

Fase ini ditandai dengan adanya penurunan populasi mikroorganisme yang cukup banyak.

#### 6. Fase *log death*

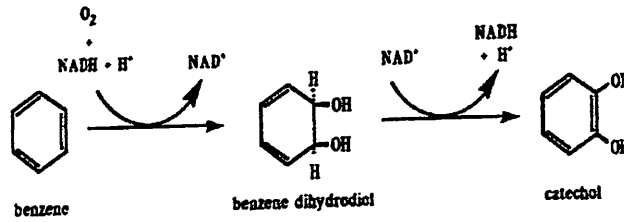
Selama fase ini, laju kematian mikroorganisme melebihi laju produksi sel mikroorganisme yang baru. Laju kematian biasanya merupakan fungsi dari populasi mikroorganisme yang bisa bertahan hidup dan karakteristik lingkungan dimana mikroorganisme tersebut hidup.

#### 7. Fase *death* (fase kematian)

Fase ini berarti kematian telah terjadi diseluruh kultur dan siklus pertumbuhan telah lengkap.

### 2.6.9 Metabolisme Mikroba Dalam Proses Degradasi Senyawa Benzena

Pada metabolisme senyawa benzena, molekul oksigen berfungsi sebagai reaktan (donor elektron). Dalam reaksi, kedua atom molekul oksigen akan bergabung ke dalam substrat, dengan bantuan enzim *dioxygenase*. Pemecahan atau pemutusan ikatan karbon dan metabolisme bakteri yang terjadi akan menyebabkan senyawa benzena menjadi tidak stabil dan kemungkinan akan menjadi lebih reaktif. Keadaan ini akan distabilkan melalui reaksi oleh enzim *dioxygenase* antara senyawa benzena dengan molekul oksigen. Reaksi ini menghasilkan benzena *dihydriol* (*cis-1,2-dihydroxycyclohexa-3,5diene*). Sedangkan aromatisasinya dihilangkan melalui reaksi *dehydrogenase* dan diubah dari benzena *dihydriol* menjadi *catechol* (*1,2-dihydroxybenzene*).



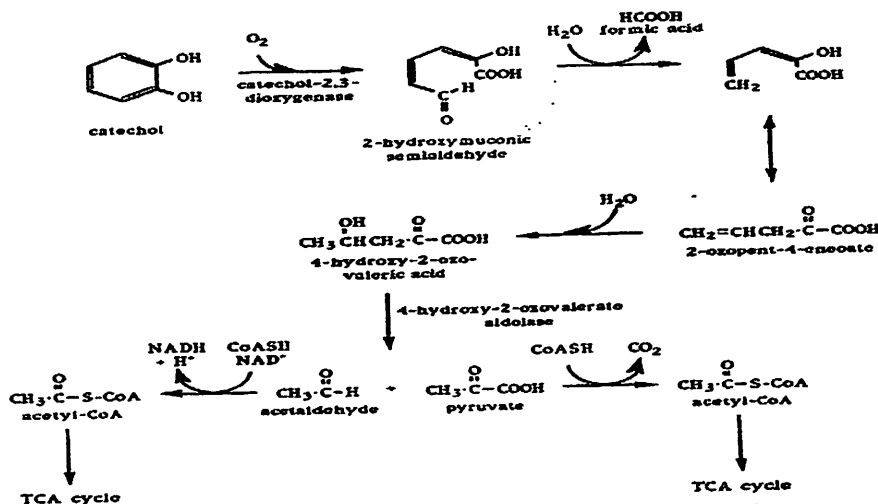
Gambar 2.7

**Oksidasi Senyawa Benzena Menjadi Catechol**  
(Barnes, Kevin; Binger, Jono; Higgins, Doug, 2006)

*Catechol* di-katabolisme melalui pemutusan rantai karbon. Pemutusan rantai karbon dapat terjadi dengan dua cara, yaitu:

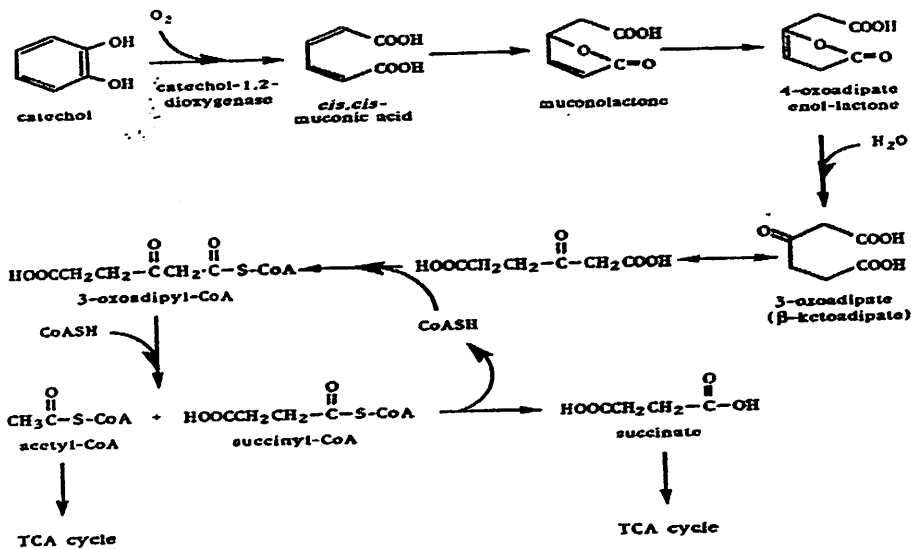
- Pemutusan rantai-*ortho*: rantai aromatik akan bertukar tempat antara dua atom karbon menjadi gugus *hydroxyl*.
- Pemutusan rantai-*meta*: rantai karbon akan pecah menjadi *hydroxyl carbon* dan atom karbon dengan gugus yang berbeda.

Kedua cara pemutusan rantai ini akan dikatalis dengan bantuan enzim *dioxygenase*. Kemudian selanjutnya akan terjadi proses metabolisme yang cukup berbeda, tetapi keduanya akan menghasilkan jenis produk antara (*asetat* dan *succinate*) atau menjadi substrat yang akan lebih mudah untuk diubah menjadi produk antara (*pyruvat* dan *acetaldehyde*) yang lebih tidak berbahaya.



Gambar 2.8

**Pemutusan Rantai Karbon-Ortho**  
(Barnes, Kevin; Binger, Jono; Higgins, Doug, 2006)



Gambar 2.9

### Pemutusan Rantai Karbon-Metha

(Barnes, Kevin; Binger, Jono; Higgins, Doug, 2006)

#### 2.6.10 Faktor Lingkungan Yang Berpengaruh Terhadap Mikroorganism

Beberapa faktor lingkungan yang penting dalam menunjang kehidupan mikroorganism adalah:

##### 1. Kelembaban tanah

Kelembaban mempengaruhi transfer substrat atau kontaminan yang berfungsi sebagai substrat ke sel mikroorganism, transfer gas, pergerakan mikroba, distribusi dari jenis mikroorganism serta tingkat toksisitas polutan yang mungkin berbahaya bagi kehidupan mikroorganism. Kelembaban yang rendah akan menghalangi aktifitas bakteri, karena menghalangi gerakan sel dan reaksi metabolisme. Kelembaban tanah dengan kadar air kurang lebih 80% dari kapasitas lapang (*field capacity*, dengan kadar air 17-20%) atau kurang lebih 15% kandungan air, merupakan kondisi yang optimal bagi umumnya mikroorganism. Kadar air total kurang dari 7% dilaporkan mengurangi aktifitas mikroorganism secara drastis (English dalam Notodarmojo, Suprihanto, 2005).

##### 2. Temperatur

Pengaruh temperatur cukup nyata pada laju degradasi oleh mikroorganism. Pada kisaran temperatur dimana mikroorganism dapat hidup, peningkatan temperatur akan meningkatkan aktifitas mikroorganism, yang

dengan sendirinya akan meningkatkan laju reaksi. Setiap mikroorganisme mempunyai temperatur minimum masing-masing di mana mereka tidak tumbuh atau berkembang biak lagi. Temperatur optimum bagi hampir semua mikroorganisme yang hidup di tanah umumnya 10–40°C.

### 3. pH tanah

pH berpengaruh pada reaksi abiotis dan reaksi biotis. Parameter pH akan mempengaruhi kemampuan fungsi-fungsi sel, seperti transpor melalui membran sel, keseimbangan reaksi yang terkatalis dengan enzim. Hampir semua mikroorganisme akan tumbuh dengan baik pada pH mendekati normal (sekitar 7). Kisaran pH yang umum bagi mikroorganisme untuk hidup cukup baik dalam tanah adalah 5 sampai 10.

### 4. Kandungan garam

Kadar garam terlarut seperti nutrien ataupun garam anorganik akan mempengaruhi tekanan osmosis dari larutan air tanah atau kelembapan yang ada. Mikroorganisme mempunyai membran yang sangat berperan penting dalam metabolismenya. Dengan berubahnya tekanan osmosis, maka fenomena transpor substrat atau nutrien yang melalui sel membran akan terpengaruh juga. Tekanan osmosis di dalam sel harus lebih tinggi bila dibandingkan dengan larutan tanah di sekitarnya sehingga aliran akan masuk ke dalam sel.

## 2.7 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Croxton dan Cowden memberi definisi tentang statistik sebagai metode guna mengumpulkan, mengolah, menyajikan, menganalisa dan menginterpretasi data yang berwujud angka-angka (Dajan, Anto, 1991). Peran statistik dalam penelitian ilmiah meliputi 3 hal, yaitu: deskripsi, analisis dan peramalan/prediksi (Yitnosumarto, Suntoyo, 1993).

### 2.7.1 Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif adalah metode statistik yang meringkas, menyajikan dan mendeskripsikan data dalam bentuk yang mudah dibaca sehingga memberikan kemudahan dalam memberikan informasi. Statistik deskriptif menyajikan data dalam bentuk tabel, grafik, ukuran pemusatan data dan

penyebaran data (Iriawan, Nur dan Puji Astuti, Septin, 2006). Berikut ini adalah beberapa rumus yang biasa digunakan dalam statistik deskriptif (Sudjana, 1992):

a. Rata-rata Hitung ( $\bar{x}$ )

Rumus yang digunakan adalah:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Dimana:

$\bar{x}$  = Rata – rata hitung dari sampel

$\sum x$  = Total jumlah sampel

$n$  = Banyaknya sampel

b. Simpangan Baku ( $s$ )

Rumus yang digunakan adalah:

$$s = \sqrt{\frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

Dimana:

$s$  = Standart deviasi yang dicari

$\sum x$  = Jumlah semua harga sampel

$n$  = Banyaknya sampel

### 2.7.2 Statistik Inferensi

Agar mendapatkan informasi lebih terperinci, maka diperlukan analisis data dengan metode statistik tertentu. Hasil analisis data akan memberikan informasi lebih rinci sehingga akan diperoleh suatu kesimpulan mengenai suatu fenomena berdasarkan sampel yang diambil. Analisa tersebut dinamakan statistika inferensi. Statistik inferensi dapat memberikan informasi lebih objektif terutama dalam proses pengambilan keputusan yang ditunjang dengan adanya nilai tingkat kesalahan pengukuran. Statistik inferensi selanjutnya akan dijabarkan kembali ke dalam penaksiran titik dan penaksiran selang dari suatu nilai parameter dan juga pengujian hipotesis dari suatu masalah. Beberapa analisa yang terdapat dalam statistik inferensi adalah sebagai berikut:

### a. Analisa Varian

Pengujian menggunakan analisa varian dalam statistika parametrik diantara kelompok yang saling memiliki perbedaan sebagai akibat adanya perlakuan, dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Varian* (ANOVA). Uji ini dilakukan berdasarkan distribusi nilai F. Nilai F diperoleh dari rata-rata jumlah kuadrat (*mean square*) antar kelompok yang dibagi dengan rata-rata jumlah kuadrat dalam kelompok dengan rumus.

$$F = \frac{S_B^2}{S_W^2}$$

Dimana:

$S_B^2$  = Varians antar kelompok

$S_W^2$  = Varians dalam kelompok

### b. Analisa korelasi

Untuk mengetahui derajat hubungan antar variabel digunakan analisa korelasi. Ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan, terutama untuk data kuantitatif, dinamakan koefisien korelasi. Koefisien korelasi adalah indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur derajat hubungan, meliputi kekuatan hubungan dan bentuk/arrah hubungan. Nilai hubungan berada pada selang tertutup (-1, 1). Untuk membaca besarnya derajat keeratan dari hubungan terdapat dua hal yang harus diperhatikan, yakni:

- Lihat tanda dari derajat keeratan tersebut, positif atau negatif. Hubungan statistika kedua peubah akan negatif apabila salah satu variabel memiliki hubungan yang bertolak belakang dengan peubah lainnya. Atau dengan kata lain apabila nilai suatu peubah membesar maka nilai peubah lainnya mengecil. Sedangkan hubungan statistika kedua peubah akan bernilai positif jika hubungan kedua peubah searah atau dengan kata lain apabila satu peubah membesar maka nilai peubah yang lainnya ikut membesar, dan sebaliknya.
- Lihat besarnya nilai derajat keeratan. Untuk membaca nilai dari derajat keeratan dapat digunakan klasifikasi hubungan statika dua peubah. Untuk

membaca nilai dari derajat keeratan dapat digunakan klasifikasi hubungan statistika dua peubah menurut *Guilford* berikut ini:

Tabel 2.3 Koefisien Korelasi *Guilford*

Nilai Hubungan Statistika dua Peubah	Keterangan
0.00-0.199	Sangat rendah
0.2 – 0.39	Rendah
0.4 – 0.599	Sedang
0.6 – 0.799	Kuat
0.80 – 1.000	Sangat kuat

(Sumber: *Yarnest, 2003*)

Sebagai catatan penting, jika nilai hubungan statistika dua peubah sama dengan 1 atau mendekati 1, maka korelasi antara dua peubah dikatakan positif dan sangat kuat sekali, atau dengan kata lain nilai suatu peubah dapat dengan tepat/pasti dijelaskan oleh peubah yang lainnya. Jika nilai statistika dua peubah sama dengan 0 atau mendekati 0, maka hubungan diantara kedua peubah sangat lemah atau tidak terdapat hubungan sama sekali (Dajan, Anto, 1991).

Untuk keperluan perhitungan koefisien korelasi berdasarkan sekumpulan data berukuran n dapat digunakan rumus (Sudjana, 1992) :

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\} \{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\}}}$$

Dimana:

- $r$  = Koefisien korelasi
- $x_i$  = Variabel bebas
- $y_i$  = Variabel terikat
- $n$  = Jumlah data

### c. Analisa Regresi

Analisa regresi adalah suatu analisa untuk menyatakan hubungan fungsional antara variabel ke dalam bentuk persamaan matematis. Untuk analisis regresi akan dibedakan dua jenis variabel, yaitu variabel bebas atau variabel prediktor dan variabel tak bebas atau variabel respon. Pembuatan persamaan

matematis dimaksudkan untuk membantu peneliti didalam melihat pola atau karakteristik hubungan antara variabel bebas dengan variabel tak bebas/terikat, bahkan biasanya digunakan untuk memprediksikan kondisi masa yang akan datang.

Jika variabel bebas dan variabel terikat yang terlibat dalam penelitian masing-masing hanya satu, maka dinamakan Regresi Linear Sederhana. Kemudian apabila hanya ada satu variabel terikat dan beberapa variabel bebas maka persamaan regresinya disebut Regresi Linear Berganda. Bentuk persamaan regresi secara umum adalah:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + \dots + kX_n$$

Dimana:

$Y$  = Variabel terikat

$a$  = Konstanta

$b$  = Koefisien regresi

$X_1$  = Variabel bebas

Pada analisa regresi juga diperlukan beberapa pengujian yaitu:

- Uji F yang digunakan untuk mengetahui apakah persamaan regresi bisa dipakai untuk memprediksi variabel terikat.
- Uji t digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien konstanta dan variabel bebas.

### 2.7.3 Generalisasi Dan Kesimpulan Analisa Data

Generalisasi adalah penarikan suatu kesimpulan umum dari suatu analisis penelitian. Generalisasi yang dibuat harus berkaitan dengan teori yang mendasari penelitian yang dilakukan. Setelah generalisasi dibuat, selanjutnya dibuatkan kesimpulan-kesimpulan yang lebih khusus (terinci) dari penelitian berdasarkan generalisasi yang telah dibuat.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Lingkungan jurusan Teknik Lingkungan dan Laboratorium Mikrobiologi Institut Teknologi Nasional Malang.

#### **3.2 Jenis Penelitian**

Penelitian ini dilakukan menggunakan teknik *biopiling* dalam skala laboratorium.

#### **3.3 Variabel Penelitian**

##### **3.3.1 Variabel terikat**

- Konsentrasi senyawa benzena
- Pertumbuhan bakteri

##### **3.3.2 Variabel bebas**

- Variasi penambahan bakteri: 0 koloni bakteri *Bacillus Cereus*;  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*;  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*;  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*.
- Hari pengambilan sampel: 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari

##### **3.3.3 variabel tetap**

- Faktor lingkungan (kadar air, pH)
- Konsentrasi nutrisi (C: N: P)

#### **3.4 Bahan-bahan dan Peralatan**

##### **3.4.1 Bahan-Bahan**

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini, antara lain:

- a) Bakteri indigen yang terdapat dalam sampel tanah
- b) Media agar nutrisi
- c) Aquadest
- d) Larutan aquafisiologis (mengandung NaCl)
- e) Heksana

### **3.4.2 Peralatan**

#### **a) Instalasi *biopiling*:**

- Delapan *piling*, dengan dimensinya sebagai berikut:
  - Lebar = 0.5 meter
  - Panjang = 0.5 meter
  - Tinggi = 0.3 meter
- *Polyethylene*
- Pasir

#### **b) Peralatan yang digunakan pada proses pewarnaan untuk mengetahui bentuk dan sifat dari bakteri adalah:**

- Kaca obyek
- Deck glass
- Mikroskop
- Bunsen
- Kawat ose
- Tissue

#### **c) Peralatan yang digunakan pada proses perhitungan jumlah bakteri dengan metode cawan tuang adalah:**

- Tabung reaksi
- Pipet tetes
- Pipet volume
- Inkubator
- Erlenmeyer
- Batang pengaduk
- Cawan Petri
- Karet penghisap
- Gelas ukur

#### **d) Peralatan yang digunakan pada test volumetrik untuk mengetahui kadar air dalam sampel adalah:**

- Oven dengan pengatur suhu sampai 105-110°C
- Cawan logam atau gelas dengan ukuran yang cukup

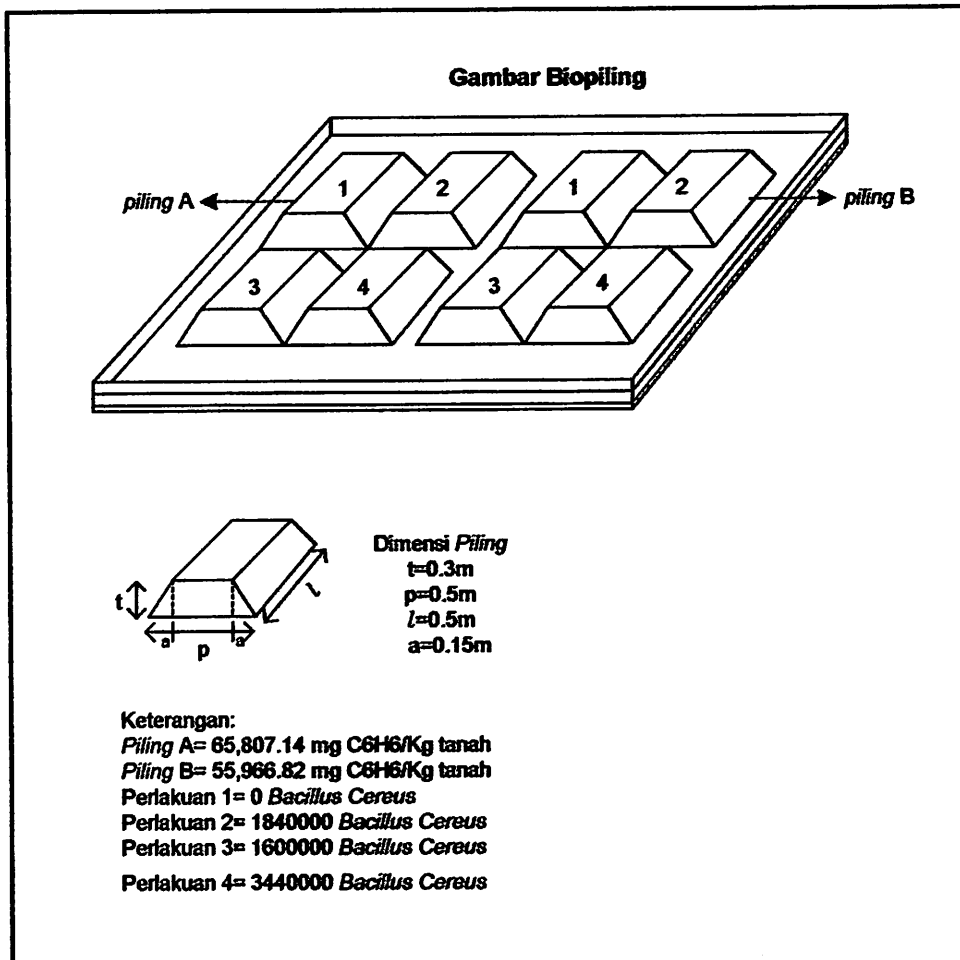
- Neraca dengan ketelitian 0.01 gram; 0.1 gram dan 1 gram
  - Desikator
- e) Peralatan yang digunakan dalam ekstraksi (memisahkan senyawa benzena dari tanah tercemar) adalah:
- Labu ukur
  - Pipet ukur
  - Timbangan elektrik
- f) Satu unit peralatan analisa gas kromatografi dengan detektor FID.
- g) Satu unit peralatan analisa kesuburan tanah

### 3.4.3 Konstruksi *biopiling* dan variasi yang dilakukan

Konstruksi *biopiling* ini terdiri dari 8 *piling* tanah yang mempunyai dimensi panjang 0.5m; lebar 0.5m dan tinggi 0.3m; dengan dua konsentrasi senyawa benzena yang berbeda. Variasi yang dilakukan pada tiap-tiap sampel tanah adalah variasi titik pengambilan sampel (kedalaman 1m dan 3m, dengan lebar jarak pengambilan sampel 1m dan 5m), variasi perlakuan penambahan jumlah bakteri yang berasal dari bakteri dengan jumlah paling dominan, dan variasi hari pengambilan sampel (7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari).

Variasi kedalaman dan lebar jarak pengambilan sampel dimaksudkan untuk mendapat konsentrasi senyawa benzena yang berbeda pada sampel tanah. Kedalaman 1m dan lebar jarak pengambilan sampel 1m dianggap mengandung konsentrasi senyawa benzena lebih tinggi dari pada sampel tanah dengan kedalaman 3m dan lebar jarak pengambilan 5m. Variasi penambahan bakteri yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam mendegradasi senyawa benzena. Sedangkan variasi hari pengambilan sampel dilakukan untuk mengetahui pada minggu ke-berapa terjadi pertumbuhan bakteri secara maksimal, untuk mengetahui tingkat penurunan konsentrasi senyawa benzena yang terjadi, dan untuk mengetahui pada minggu ke-berapa terjadi penurunan konsentrasi senyawa benzena paling besar.

### 3.4.4 Gambar Konstruksi *Biopiling*



### 3.5 Prosedur Persiapan Penelitian

#### 3.5.1 Metode pengambilan sampel

Sampel yang digunakan adalah tanah yang tercemar minyak mentah. Sampel diambil dengan menggunakan metode *drive cylinder* dengan kedalaman 1m dan 3m dari atas permukaan tanah dan lebar 1m dan 5m dari tepi sumur. Pengambilan sampel pada titik kedalaman dan lebar yang berbeda dimaksudkan untuk mendapatkan konsentrasi senyawa benzena awal yang berbeda. Sampel tanah selanjutnya dimasukkan ke dalam boks yang kedap air dan udara, dengan tujuan untuk mencegah rembesan polutan dan menguapnya senyawa benzena. Lokasi pengambilan sampel untuk daerah yang dianggap tercemar minyak bumi

adalah area di tepi sebuah sumur pengumpul minyak, yang berada pada sebuah industri minyak dan gas yang terletak pada daerah Gresik-Surabaya.

### **3.6 Prosedur Uji Pendahuluan**

#### **3.6.1 Konsentrasi senyawa benzena awal**

Metode untuk mengetahui nilai konsentrasi senyawa benzena awal adalah dengan melakukan analisa *gas chromatography*, dengan menggunakan peralatan *gas chromatography* merk HP type 5890 dengan detektor FID (*Flame Ionization Detector*) dan kolom kapiler, gas pembawa, *integrator* atau *PC/printer*.

#### **3.6.2 Jumlah bakteri *Bacillus Cereus* awal**

a. Inokulasi bakteri indigen awal

Metode cawan tuang dilakukan untuk inokulasi bakteri indigen awal dengan penanaman dalam media agar nutrisi.

b. Menghitung jumlah bakteri inokulasi pertama

Menghitung dengan *colony counter* dilakukan untuk menghitung jumlah bakteri hasil inokulasi pertama.

c. Isolasi tahap pertama dan kedua

Metode untuk isolasi tahap pertama dan tahap kedua dilakukan dengan penanaman bakteri ke dalam media cair nutrisi.

d. Identifikasi bakteri isolasi

Identifikasi bakteri hasil isolasi tahap kedua dilakukan dengan menggunakan tes *Microbact*.

#### **3.6.3 Kadar air, C:N:P dan pH awal**

a. Kadar air

Metode tes volumetrik dilakukan untuk mengetahui nilai kadar air dalam sampel tanah.

b. C:N:P

Metode analisa kesuburan tanah dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi C:N:P dalam tanah.

c. pH

Untuk mengukur nilai pH dilakukan dengan melakukan pengukuran menggunakan alat pH meter.

### 3.7 Prosedur Persiapan Bahan Dan Tempat Penelitian

a. Persiapan bahan

- Mempersiapkan sampel tanah yang mengandung senyawa benzena, yang berasal dari sebuah industri minyak dan gas di Gresik-Surabaya.

b. Persiapan tempat penelitian

- Membersihkan lahan dan membuat landasan pondasi. Pondasi dibuat miring untuk kelancaran drainase dan aliran air hujan.
- Membuat tanggul di sekitar pondasi untuk mencegah run-on air dan run-off *leachate*.
- Memasang 2 lapis *polyethylene* di atas pondasi dan di sepanjang tanggul untuk mencegah rembesan zat pencemar ke lapisan drainase dan ke permukaan tanah.
- Membuat lapisan dasar dari pasir yang bersih setebal 2 inchi yang dipadatkan untuk melindungi lapisan *polyethylene* selama proses konstruksi *biopiling*.

### 3.8 Prosedur Penelitian

- Membuat *piling* tanah tercemar di atas lapisan pasir bersih.
- Menambah nutrisi pada tanah, menyiram tanah dengan air sampai tanah menjadi basah tetapi tidak tergenang.
- Masing-masing media ditambahkan biakan bakteri yang jumlahnya divariasikan. Dilanjutkan dengan pengadukan tanah dengan menggunakan sekop kecil.
- Sampel tanah masing-masing diberi label nama agar lebih mudah diidentifikasi.
- Penjagaan kondisi aerob dilakukan dengan mengaduk-aduk sampel tanah dengan intensitas yang sama menggunakan sekop kecil setiap 7 hari.

- Pada pH tidak dilakukan perlakuan khusus, tetapi nilai pH selama proses diamati untuk mengetahui perubahan pH yang terjadi selama proses biodegradasi berlangsung.
- Temperatur disesuaikan dengan kondisi lingkungan tempat penelitian dilakukan.
- Masa penelitian direncanakan selama 28 hari dilakukan secara kontinyu. Dari sini diharapkan akan diperoleh kondisi media yang paling baik untuk biodegradasi senyawa benzena oleh bakteri.

### 3.9 Prosedur Uji Lanjutan

#### a. Konsentrasi senyawa benzena

Metode untuk mengetahui nilai konsentrasi senyawa benzena awal adalah dengan melakukan analisa *gas chromatography*.

#### b. Jumlah bakteri *Bacillus Cereus*

Menghitung dengan *colony counter* dilakukan untuk menghitung jumlah bakteri.

#### c. Kadar air, C:N:P, pH

- Kadar air

Metode tes volumetrik dilakukan untuk mengetahui nilai kadar air dalam sampel tanah.

- C:N:P

Metode analisa kesuburan tanah dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi C:N:P dalam tanah.

- pH

Untuk mengukur nilai pH dilakukan dengan melakukan pengukuran menggunakan alat pH meter.

### 3.10 Pengolahan Data

#### 3.10.1 Metode Analisa

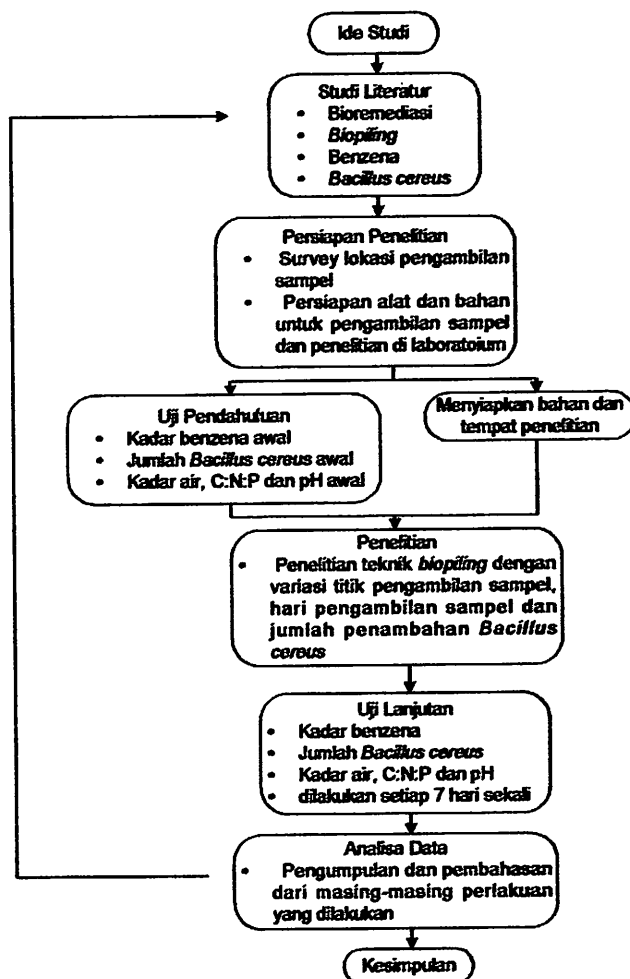
Untuk mengetahui besar konsentrasi senyawa benzena yang telah didegradasi selama proses *biopiling* dilakukan analisa *gas chromatography*, untuk mengetahui jumlah bakteri dilakukan penghitungan jumlah bakteri dengan

menggunakan *colony counter*, dan untuk mengidentifikasi bakteri dilakukan tes Microbact.

### 3.10.2 Metode Statistik

Metode statistik yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi titik pengambilan sampel, variasi penambahan jumlah bakteri, variasi hari pengambilan sampel, nilai kadar air, nilai C:N:P dan nilai pH terhadap persentase konsentrasi akhir senyawa benzena dan jumlah bakteri adalah metode rancangan faktorial, uji korelasi dan regresi. Untuk mengetahui perbedaan pada variasi titik pengambilan sampel, variasi penambahan jumlah bakteri, variasi hari pengambilan sampel pada setiap perlakuan dilakukan uji Duncan.

### 3.11 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



**BAB IV**  
**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Hasil Tes Pendahuluan**

Tanah sangat beragam dalam hal komposisi maupun sifatnya. Komposisi tersebut sangat bervariasi menurut jenis tanah, lokasi dan kedalaman. Untuk memudahkan dalam membandingkan *piling* yang satu dengan *piling* yang lain, dalam penelitian ini diperlukan suatu parameter, yaitu konsentrasi awal senyawa benzena, jumlah bakteri awal, kadar air awal, nilai C:N:P awal dan pH.

Berdasarkan hasil tes pendahuluan yang dilakukan didapat hasil sebagai berikut:

1. Dari hasil tes *gas chromatography* didapat konsentrasi awal senyawa benzena, yaitu sebagai berikut:
  - a. *Piling A* = 65,807.14 mg / Kg tanah
  - b. *Piling B* = 55,966.82 mg / Kg tanah
2. Jumlah hasil inokulasi bakteri indigen awal dalam media agar nutrisi, yaitu sebesar:  $2,68.10^6$  koloni.
3. Jenis dan jumlah bakteri uji
  - a. Penentuan bakteri uji

Penentuan spesies bakteri uji dilakukan dengan menghitung jumlah koloni bakteri hasil isolasi tahap kedua yang terbanyak (faktor dominan). Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1  
Jumlah Bakteri Hasil Isolasi II

Sampel	Jumlah Koloni ( $10^6$ )			Rata-rata ( $10^6$ )
	Ulangan			
	1	2	3	
1	0,56	2,24	1,52	1,44
2	3,80	0,84	0,88	1,84
3	1,32	2,04	0,24	1,20
4	1,08	1,84	1,04	1,32
5	1,12	1,72	1,96	1,60

*Sumber: Hasil Penelitian*

b. Identifikasi bakteri

Untuk identifikasi genus dan spesies bakteri terhadap 5 sampel bakteri yang diujikan dilakukan tes Microbact dan hasilnya adalah bakteri *Bacillus Cereus*.

Jadi berdasarkan hasil penentuan bakteri uji, diketahui bahwa:

- Bakteri uji 1 =  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*
- Bakteri uji 2 =  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

4. Nilai C: N: P

Dari hasil analisa kesuburan tanah yang dilakukan terhadap sampel tanah didapat hasil sebagai berikut:

- C = 52,645.71 mg/Kg
- N = 0.042 %
- P = 5.699 mg / Kg

5. Dari hasil tes volumetrik pada sampel tanah, didapat nilai kadar air sebesar 11.857 %.

6. Berdasarkan pengukuran pH dengan menggunakan pH meter pada sampel tanah, didapat nilai pH sebagai berikut:

- *Piling A* = 6.28
- *Piling B* = 6.25

Titik pengambilan sampel untuk faktor konsentrasi senyawa benzena dan pH dilakukan di dua lokasi yang berbeda, yaitu dengan kedalaman 1 meter dan 3 meter dari atas permukaan tanah dan lebar 1 meter dan 5 meter dari tepi sumur. Sedangkan faktor jumlah bakteri, jumlah C: N: P dan kadar air, titik pengambilan sampel dilakukan di satu titik yang dianggap mewakili dari dua lokasi pengambilan sampel tersebut.

#### **4.2 Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena dan Jumlah Bakteri Selama Proses Biodegradasi**

Penelitian terpenting (pokok) dalam skripsi ini adalah penelitian terhadap konsentrasi akhir senyawa benzena dan jumlah bakteri selama berlangsungnya proses biodegradasi.

#### 4.2.1 Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena

Dari nilai konsentrasi akhir senyawa benzena yang ada, kita dapat mengetahui besarnya konsentrasi senyawa benzena dalam tanah yang berhasil didegradasi dengan teknik *biopiling*. Hasil pengukuran terhadap konsentrasi akhir senyawa benzena dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2  
Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena

Perlakuan	Piling	Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena (mg/Kg tanah)			
		Hari ke-			
		7	14	21	28
I	A	10,887.07	10,859.50	10,411.41	9,796.39
	B	10,850.71	10,543.20	10,508.06	10,253.26
II	A	10,613.49	10,385.05	10,411.41	10,016.04
	B	10,235.69	10,200.55	9,989.68	9,972.11
III	A	10,718.92	10,648.63	10,103.90	9,767.74
	B	10,420.20	10,288.41	10,191.76	9,524.02
IV	A	10,569.56	10,446.55	10,200.55	9,717.32
	B	10,639.85	10,464.13	10,007.26	9,910.61

Sumber: Hasil penelitian

Keterangan:

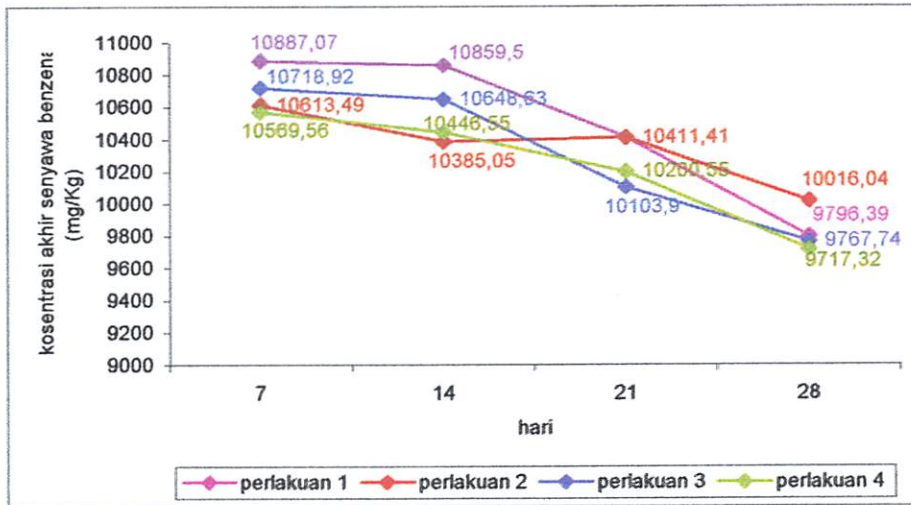
Perlakuan I : Tanpa penambahan bakteri

Perlakuan II : Dilakukan penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

Perlakuan III : Dilakukan penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

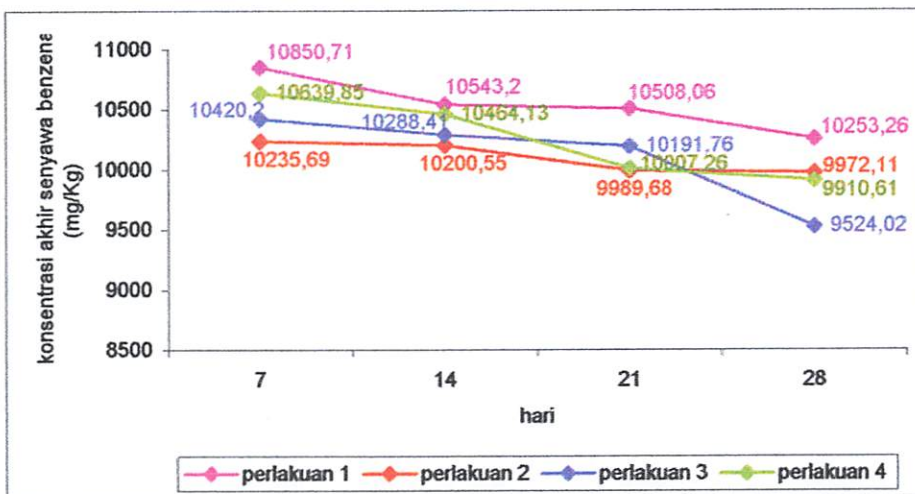
Perlakuan IV : Dilakukan penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

Untuk lebih memudahkan pembahasan mengenai konsentrasi akhir senyawa benzena, data tabel 4.2 di atas akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik konsentrasi akhir senyawa benzena dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.1

Grafik Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena Pada *Piling A*



Gambar 4.2

Grafik Konsentrasi Akhir Senyawa Benzena Pada *Piling B*

Berdasarkan gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa semakin lama waktu perlakuan maka semakin besar pula konsentrasi senyawa benzena yang berkurang. Untuk *piling A* diketahui bahwa konsentrasi akhir senyawa benzena terendah terdapat pada perlakuan 4 (variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 9,717.32 mg/Kg tanah dan konsentrasi akhir senyawa benzena tertinggi, terdapat pada perlakuan 2 (variasi penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 10,061.04 mg/Kg tanah. Untuk *piling B* diketahui bahwa konsentrasi akhir senyawa benzena terendah terdapat pada

perlakuan 3 (variasi penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 9,524.02 mg/Kg tanah dan untuk konsentrasi akhir senyawa benzena tertinggi terdapat pada perlakuan 1 (tanpa penambahan bakteri) yaitu sebesar 10,253.26 mg/Kg tanah.

Dari data yang ada terlihat bahwa konsentrasi akhir senyawa benzena pada tiap *piling* mempunyai nilai yang berbeda-beda. Hal ini terjadi karena perbedaan konsentrasi senyawa benzena yang dapat diadsorpsi oleh partikel tanah dan tingkat kemampuan bakteri dalam mendegradasi senyawa benzena yang berbeda pula. Selain itu kedalaman lokasi pengambilan sampel juga menyebabkan perbedaan diatas.

Untuk memudahkan dalam membandingkan *piling* yang satu dengan yang lain, maka konsentrasi akhir senyawa benzena pada tiap *piling* akan dinyatakan dalam bentuk persen (%). Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dalam setiap perlakuan dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\% \text{ penurunan} = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Persentase penurunan digunakan untuk mengetahui besaran yang akan menunjuk kepada keoptimalan dari masing-masing perlakuan yang divariasikan pada suatu penelitian. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena pada tiap *piling*, dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3:

Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena (%)

Perlakuan	Piling	Hari ke-			
		7	14	21	28
I	A	83.456	83.498	84.179	85.113
	B	80.612	81.162	81.224	81.680
II	A	83.872	84.219	84.133	84.780
	B	81.711	81.774	82.151	82.182
III	A	83.712	83.818	84.499	85.157
	B	81.381	81.617	81.790	82.638
IV	A	83.939	84.123	84.646	85.234
	B	80.989	81.303	82.119	82.292

Sumber: hasil penelitian

Berdasarkan tabel 4.3 di atas diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena pada tiap *piling* berkisar antara 80.612 % sampai 85.234 %. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena terbesar terjadi di hari ke-28 pada perlakuan 4 (dilakukan penambahan  $3,44.10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 85.234 % dan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena terkecil terjadi di hari ke-7 pada perlakuan 1 (tidak dilakukan penambahan bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 80.612 %

#### 4.2.2 Jumlah Bakteri

Dari jumlah bakteri yang ada maka kita dapat mengetahui jumlah bakteri yang mampu mendegradasi senyawa benzena selama proses biodegradasi. Hasil pengukuran terhadap jumlah bakteri dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4

Data Jumlah Bakteri Selama Proses Biodegradasi

Perlakuan	<i>Piling</i>	Jumlah Bakteri ( $10^6$ )			
		Hari ke-			
		7	14	21	28
I	A	$6,72.10^6$	$4,20.10^6$	$3,40.10^6$	$3,32.10^6$
	B	$5,12.10^6$	$5,04.10^6$	$2,56.10^6$	$2,38.10^6$
II	A	$8,04.10^6$	$7,84.10^6$	$5,72.10^6$	$5,48.10^6$
	B	$8,00.10^6$	$5,24.10^6$	$5,00.10^6$	$2,92.10^6$
III	A	$8,52.10^6$	$5,52.10^6$	$5,40.10^6$	$3,68.10^6$
	B	$6,84.10^6$	$6,32.10^6$	$5,24.10^6$	$4,84.10^6$
IV	A	$9,28.10^6$	$8,12.10^6$	$7,25.10^6$	$5,12.10^6$
	B	$8,88.10^6$	$6,04.10^6$	$4,72.10^6$	$3,76.10^6$

Sumber: Hasil penelitian

Keterangan:

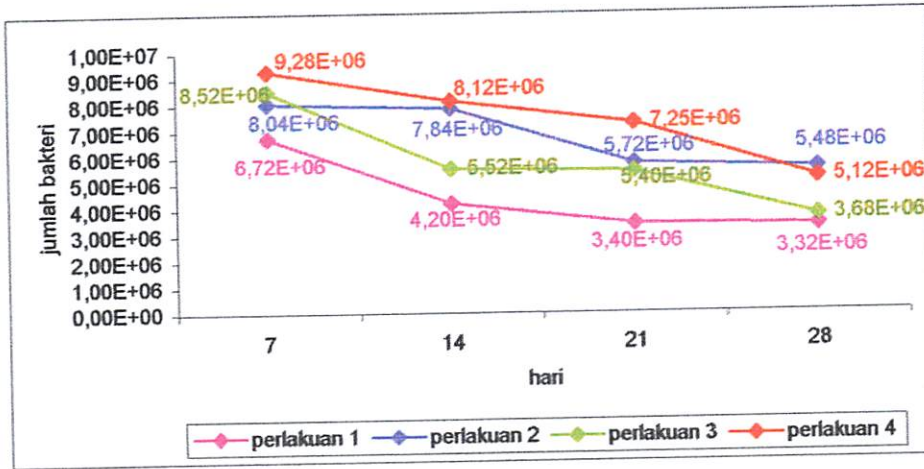
Perlakuan I : Tanpa penambahan bakteri

Perlakuan II : Dilakukan penambahan  $1,84.10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

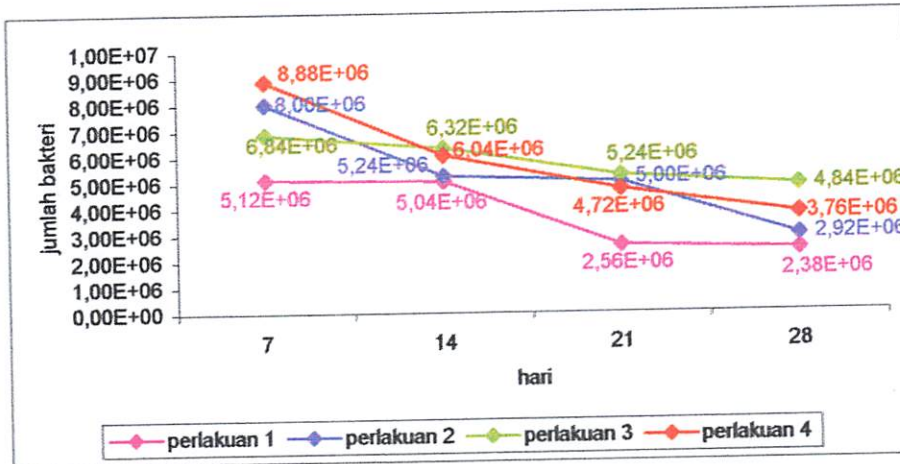
Perlakuan III : Dilakukan penambahan  $1,60.10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

Perlakuan IV : Dilakukan penambahan  $3,44.10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

Untuk lebih memudahkan pembahasan mengenai jumlah bakteri, data tabel 4.4 akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik jumlah bakteri dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 sebagai berikut:



Gambar 4.3: Grafik jumlah Bakteri Pada Piling A



Gambar 4.4: Grafik jumlah Bakteri Pada Piling B

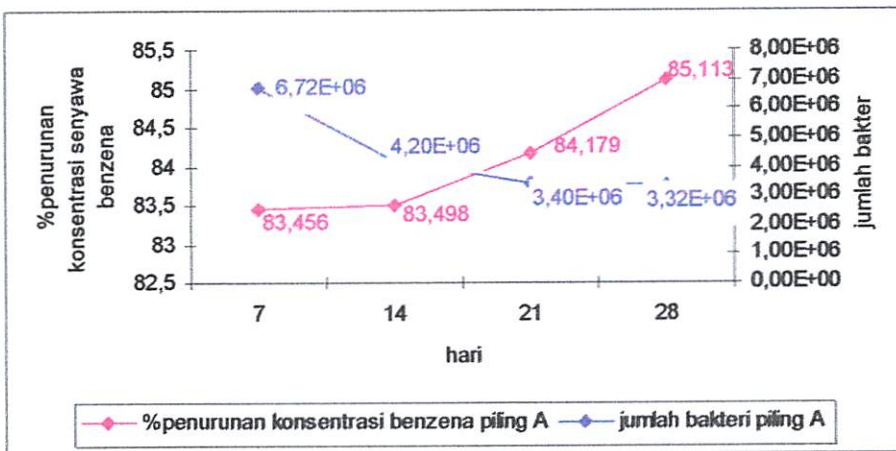
Jika dibandingkan dengan data jumlah bakteri awal, diketahui bahwa pada *piling A* jumlah bakteri tertinggi terdapat pada perlakuan 4, yaitu sebesar  $9,28.10^6$  koloni, dan jumlah bakteri terendah, yaitu sebesar  $6,72.10^6$  koloni terdapat pada perlakuan 1. Untuk *piling B*, diketahui bahwa jumlah bakteri tertinggi, yaitu sebesar  $8,88.10^6$  koloni terdapat pada perlakuan 4 dan jumlah bakteri terendah, yaitu sebesar  $5,12.10^6$  koloni terdapat pada perlakuan 1.



Disamping konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri diketahui juga mempunyai nilai yang berbeda-beda pada tiap *piling*. Hal ini disebabkan karena kondisi fisik di dalam lingkungan yang bervariasi (suhu, pH, atmosfer gas dan kelembaban), selain itu jumlah dan jenis kontaminan serta nutrisi juga berpengaruh dalam pertumbuhan bakteri.

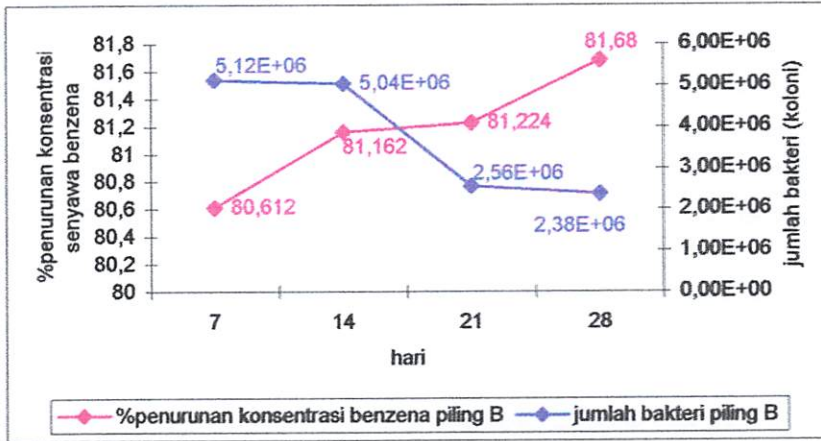
### 4.2.3 Hubungan Antara Persentase Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena dan Jumlah Bakteri

Untuk memudahkan pembahasan mengenai hubungan antara persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dengan jumlah bakteri, tabel data 4.3 dan tabel 4.4 di atas akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik hubungan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri pada setiap perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.5, 4.6, 4.7; 4.8; 4.9; 4.10; 4.11 dan 4.12 sebagai berikut:



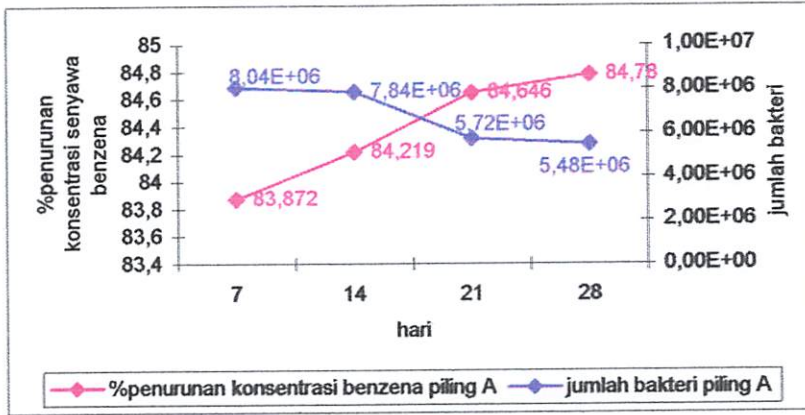
Gambar: 4.5  
 Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling A* (Tanpa Penambahan Bakteri)





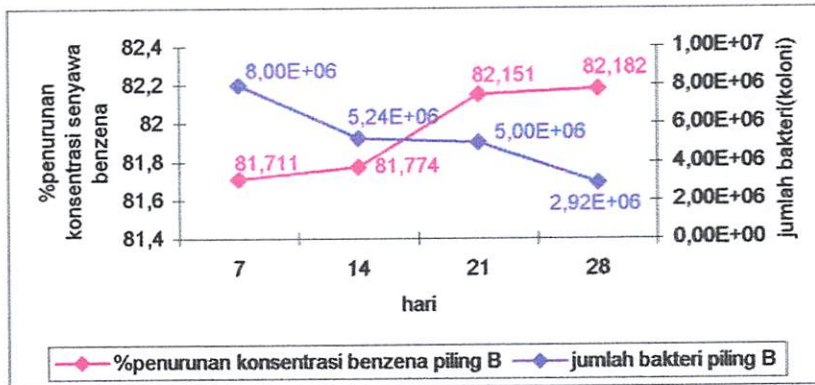
Gambar: 4.6  
 Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena  
 Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling B*  
 (Tanpa Penambahan Bakteri)

Berdasarkan gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan bahwa semakin lama proses biodegradasi berlangsung, maka persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena mengalami peningkatan dan jumlah bakteri mengalami penurunan. Jumlah bakteri yang mampu mendegradasi senyawa benzena pada *piling A* berkisar antara  $3,32 \cdot 10^6$ - $6,72 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena berkisar antara 83.456-85.113% dan untuk *piling B* memiliki jumlah bakteri  $2,38 \cdot 10^6$ - $5,12 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena antara 80.612-81.68%. Kemampuan maksimal bakteri dalam mendegradasi senyawa benzena terjadi pada 7 hari pertama, yaitu sebesar 83.456% untuk *piling A* dan 80.612% untuk *piling B*. Selanjutnya proses biodegradasi senyawa benzena berjalan lambat, dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir mencapai 85.113% untuk *piling A* dan 81.68% untuk *piling B*.



Gambar: 4.7

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling A* (Variasi Penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

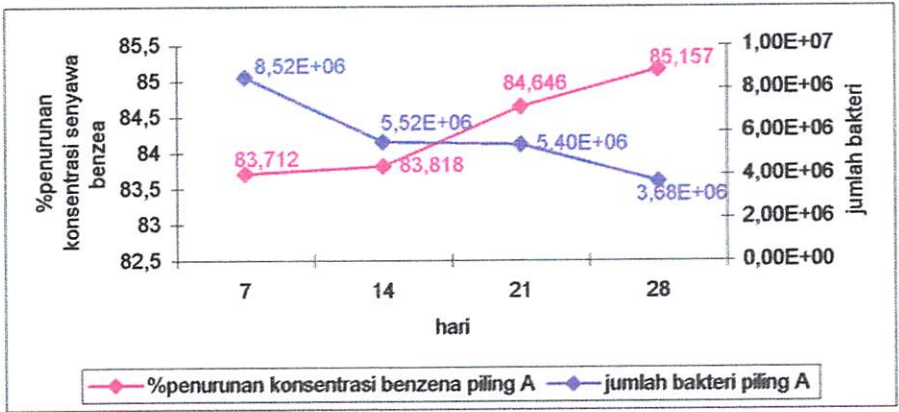


Gambar 4.8

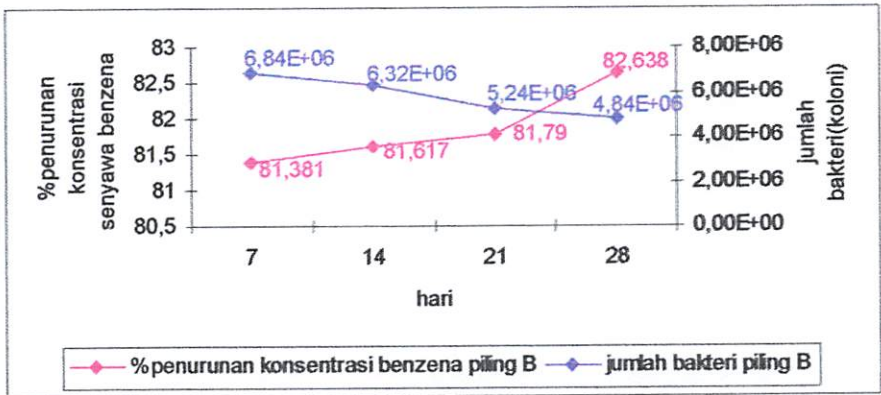
Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling B* (Variasi Penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

Berdasarkan gambar 4.7 dan 4.8 diketahui bahwa pada *piling A* jumlah bakteri yang mampu mendegradasi senyawa benzena berkisar antara  $5,48 \cdot 10^6$ - $8,04 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena berkisar antara 83.872-84.78% dan untuk *piling B* memiliki jumlah bakteri  $2,92 \cdot 10^6$ - $8,00 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena antara 81.711-82.182%. Kemampuan maksimal bakteri dalam mendegradasi senyawa benzena terjadi pada 7 hari pertama, yaitu sebesar 83.872% untuk *piling A* dan 81.711% untuk *piling B*. Selanjutnya proses biodegradasi senyawa benzena berjalan lambat, dengan persentase penurunan

konsentrasi senyawa benzena akhir mencapai 84.78% untuk *piling* A dan 82.182% untuk *piling* B.



Gambar: 4.9  
 Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling* A (Variasi Penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

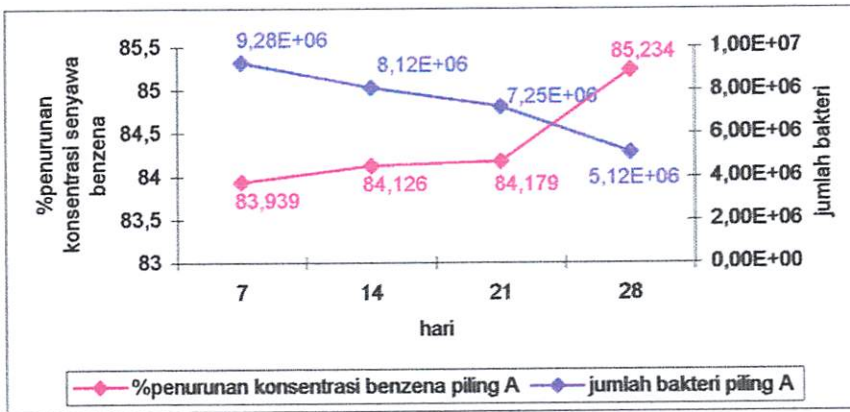


Gambar 4.10  
 Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling* B (Variasi penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

Berdasarkan gambar 4.9 dan 4.10 diketahui bahwa pada *piling* A jumlah bakteri yang mampu mendegradasi senyawa benzena berkisar antara  $3,68 \cdot 10^6$ - $8,52 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena berkisar antara 83.712-85.157% dan untuk *piling* B memiliki jumlah bakteri  $4,48 \cdot 10^6$ - $6,84 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena antara 81.381-82.638%. Kemampuan maksimal bakteri dalam

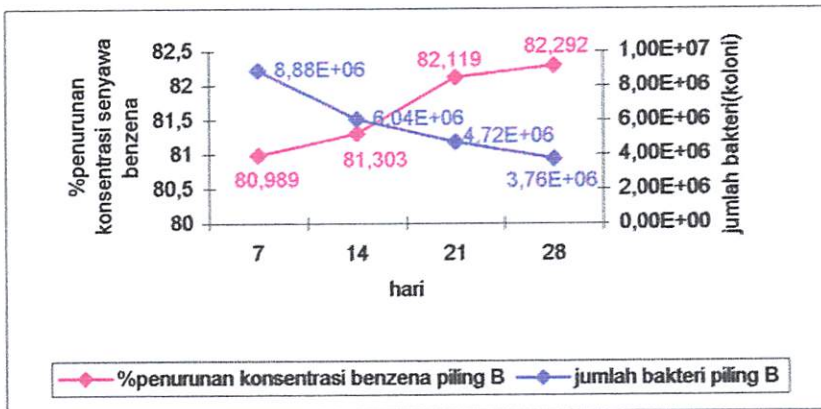


mendegradasi senyawa benzena terjadi pada 7 hari pertama, yaitu sebesar 83.712% untuk *piling* A dan 81.381% untuk *piling* B. Selanjutnya proses biodegradasi senyawa benzena berjalan lambat, dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir mencapai 85.157% untuk *piling* A dan 82.638% untuk *piling* B.



Gambar: 4.11

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling* A (Variasi Penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)



Gambar 4.12

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling* B (Variasi Penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

Berdasarkan gambar 4.11 dan 4.12 diketahui bahwa pada *piling* A jumlah bakteri yang mampu mendegradasi senyawa benzena berkisar antara  $5,12 \cdot 10^6$ - $9,28 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena

Berdasarkan gambar 4.11 dan 4.12 diketahui bahwa pada *piling* A jumlah bakteri yang mampu mendegradasi senyawa benzena berkisar antara  $5,12 \cdot 10^6$ - $9,28 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena berkisar antara 83.939-85.234% dan untuk *piling* B memiliki jumlah bakteri  $3,76 \cdot 10^6$ - $8,88 \cdot 10^6$  koloni dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena antara 80.989-82.292%. Kemampuan maksimal bakteri dalam mendegradasi senyawa benzena terjadi pada 7 hari pertama, yaitu sebesar 80.939% untuk *piling* A dan 80.989% untuk *piling* B. Selanjutnya proses biodegradasi senyawa benzena berjalan lambat, dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir mencapai 85.234% untuk *piling* A dan 82.292% untuk *piling* B.

#### 4.2.4 Analisa Data Statistik

##### 4.2.4.1 Rancangan Perlakuan: Desain Faktorial

Desain faktorial digunakan apabila percobaan menggunakan lebih dari satu faktor, dengan perlakuan yang merupakan kombinasi dari level-level satu faktor dengan level-level faktor yang lain (Yitnosumarto, Suntoyo, 1993). Desain faktorial dibutuhkan apabila interaksi antar faktor mempengaruhi respons dan apabila menghilangkan interaksi antar faktor mungkin mempengaruhi kesimpulan (Iriawan, Nur dan Puji Astuti, Septin, 2006).

Tabel 4.5 dan 4.6 dibawah berikut ini menjelaskan output analisis desain faktorial untuk data hasil eksperimen, dengan menggunakan program MINITAB.

Tabel 4.5

##### Analisa ANOVA % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena

Source	DF	Mean square	F	P
Titik pengambilan sampel	7	0,104	1,26	0,278
Penambahan bakteri	3	73,137	883,12	0,000
hari	3	8,494	102,56	0,000
Error	114	0,083		
Total	127			

**Tabel 4.6**  
**Analisa ANOVA Jumlah Bakteri**

Source	DF	Mean square	F	P
Titik pengambilan sampel	7	1253,9	3,30	0,003
Penambahan bakteri	3	2605,3	6,86	0,000
Hari	3	26143,2	68,81	0,000
Error	114	380,0		
Total	127			

#### 4.2.4.1.1 Memeriksa Pengaruh Tiap Faktor versus Variabel Respons

a. Hipotesa yang diberikan adalah:

- $H_0$  = rata-rata sampel perlakuan adalah identik
- $H_1$  = rata-rata sampel perlakuan adalah tidak identik

b. Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Nilai F hitung > F tabel,  $H_0$  ditolak
- Nilai F hitung < F tabel,  $H_0$  diterima

c. Serta digunakan juga:

- Jika p-value < 0.05,  $H_0$  ditolak
- Jika p-value > 0.05,  $H_0$  diterima

Setelah dilakukan analisa ANOVA untuk melihat ada tidaknya perbedaan pada variasi penambahan jumlah bakteri spesies *Bacillus Cereus*, variasi titik pengambilan sampel dan variasi hari pengambilan sampel terhadap tingkat persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri, didapat output yang dapat dilihat pada tabel 4.5 dan 4.6. Dari output dapat diketahui bahwa faktor titik pengambilan sampel terhadap persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena memiliki nilai  $F_{0.05;7;114} = 2.09 > 1.26$  dan p-value = 0.278 > 0.05; maka kesimpulannya adalah  $H_1$  ditolak atau ke-delapan perlakuan pada faktor titik pengambilan sampel tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Untuk faktor titik pengambilan sampel terhadap jumlah bakteri memiliki nilai  $F_{0.05;7;114} = 2.09 < 3.30$  dan p-value = 0.003 < 0.05; maka kesimpulannya adalah

$H_0$  ditolak atau ke-delapan perlakuan faktor titik pengambilan sampel memiliki perbedaan yang cukup signifikan.

Faktor penambahan bakteri terhadap persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena memiliki nilai  $F_{0,05;3;114} = 2.68 < 883.12$  dan terhadap jumlah bakteri memiliki nilai  $F_{0,05;3;114} = 2.68 < 6.86$ ;  $p\text{-value} = 0,000 < 0.05$ ; maka kesimpulannya adalah  $H_0$  ditolak atau ke-empat faktor penambahan bakteri memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Untuk faktor hari terhadap persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena memiliki nilai  $F_{0,05;3;114} = 2.68 < 102.56$  dan terhadap jumlah bakteri memiliki nilai  $F_{0,05;3;114} = 2.68 < 68.81$ ;  $p\text{-value} = 0.000 < 0.05$ ; maka kesimpulannya adalah  $H_0$  ditolak atau ke-empat perlakuan faktor hari pengambilan sampel memiliki perbedaan yang cukup signifikan.

#### 4.2.4.2 Uji Perbandingan Rata-Rata Perlakuan

Untuk menentukan perlakuan mana yang berbeda dengan yang lain, maka perlu dilakukan perbandingan perlakuan-perlakuan tersebut satu persatu. Dalam hal ini digunakan uji Duncan.

##### 4.2.4.2.1 Uji Duncan % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Versus Penambahan Bakteri

Tabel 4.7 menunjukkan hasil output uji Duncan untuk faktor % penurunan konsentrasi senyawa benzena dan faktor penambahan bakteri yang telah dilakukan.

Tabel 4.7 Duncan-Benzena Versus Penambahan Bakteri

benzena			
Duncan <sup>a,b</sup>			
perlakuan	N	Subset	
		1	2
perlakuan 1	8	82,75438	
perlakuan 3	8		83,02288
perlakuan 2	8		83,03263
perlakuan 4	8		83,06588
Sig.		1,000	,734

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,055.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = ,05.

Keterangan :

- Perlakuan 1 = penambahan 0 koloni bakteri *Bacillus Cereus*
- Perlakuan 2 = penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*
- Perlakuan 3 = penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*
- Perlakuan 4 = penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

Berdasarkan tabel 4.7 dapat diketahui bahwa:

- Perlakuan 1 memiliki perbedaan yang nyata dengan perlakuan 2, perlakuan 3 dan perlakuan 4.
- Perlakuan 2, perlakuan 3 dan perlakuan 4 tidak memiliki perbedaan yang nyata (homogen).

#### 4.2.4.2.2 Uji Duncan % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Versus Hari Pengambilan Sampel

Tabel 4.8 berikut menjelaskan hasil output uji Duncan untuk faktor persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan faktor hari pengambilan sampel yang telah dilakukan.

Tabel 4.8 Duncan-Benzena Versus Hari Pengambilan Sampel

		benzena		
Duncan <sup>a,b</sup>		Subset		
hari	N	1	2	3
7	8	82,45900		
14	8	82,68983		
21	8		83,09263	
28	8			83,63450
Sig.		,063	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,055.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = ,05.

Keterangan :

- Hari 7 = pengambilan sampel pada hari ke-7
- Hari 14 = pengambilan sampel pada hari ke-14
- Hari 21 = pengambilan sampel pada hari ke-21
- Hari 28 = pengambilan sampel pada hari ke-28



Berdasarkan tabel 4.8 dapat diketahui bahwa:

- Pengambilan sampel hari ke-7 dan hari ke-14 tidak memiliki perbedaan yang nyata (homogen).
- Pengambilan sampel hari ke-21 dan hari ke-28 memiliki perbedaan yang nyata terhadap ke-empat hari perlakuan.

#### 4.2.4.2.3 Uji Duncan Jumlah Bakteri Versus Penambahan Bakteri

Tabel 4.9 berikut menjelaskan hasil output uji Duncan untuk faktor jumlah bakteri dan faktor penambahan bakteri yang telah dilakukan

Tabel 4.9 Duncan-Bakteri Versus Penambahan Bakteri

bakteri			
Duncan <sup>a,b</sup>			
perlakuan	N	Subset	
		1	2
perlakuan 4	8	28,36963	
perlakuan 3	8	38,24388	38,24388
perlakuan 2	8	42,27638	42,27638
perlakuan 1	8		56,62325
Sig.		,255	,138

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 504,655.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = ,05.

Keterangan :

- Perlakuan 1 = penambahan 0 koloni bakteri *Bacillus Cereus*
- Perlakuan 2 = penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*
- Perlakuan 3 = penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*
- Perlakuan 4 = penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

Berdasarkan tabel 4.9 dapat diketahui bahwa:

- Perlakuan 2, perlakuan 3 dan perlakuan 4 tidak terdapat perbedaan yang nyata (homogen).
- Perlakuan 1, perlakuan 2 dan perlakuan 3 tidak memiliki perbedaan yang nyata (homogen).
- Sedangkan perlakuan 1 dan perlakuan 4 memiliki perbedaan yang nyata (homogen) terhadap ke-empat perlakuan lainnya.

#### 4.2.4.2.4 Uji Duncan Jumlah Bakteri Versus Hari Pengambilan Sampel

Tabel 4.10 berikut menjelaskan hasil output uji Duncan untuk faktor jumlah bakteri dan faktor hari pengambilan sampel yang telah dilakukan.

Tabel 4.10 Duncan-Bakteri Versus Hari Pengambilan Sampel

bakteri			
Duncan <sup>a,b</sup>			
hari	N	Subset	
		1	2
21	8	19,80575	
28	8	21,73400	
14	8	43,09738	
7	8		80,87600
Sig.		,062	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 504,655.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = ,05.

Keterangan :

- Hari 7 = pengambilan sampel pada hari ke-7
- Hari 14 = pengambilan sampel pada hari ke-14
- Hari 21 = pengambilan sampel pada hari ke-21
- Hari 28 = pengambilan sampel pada hari ke-28

Berdasarkan tabel 4.10 dapat diketahui bahwa:

- Pengambilan sampel hari ke-14, hari ke-21 dan hari ke-28 tidak terdapat perbedaan yang nyata (homogen).
- Pengambilan sampel hari ke-7 memiliki perbedaan yang nyata terhadap keempat hari pengambilan sampel lainnya.

#### 4.2.4.2.5 Uji Duncan Jumlah Bakteri Versus Titik Pengambilan Sampel

Tabel 4.11 berikut menjelaskan hasil output uji Duncan untuk faktor jumlah bakteri dan faktor titik pengambilan sampel yang telah dilakukan.

Tabel 4.11 Duncan-Bakteri Versus Titik Pengambilan Sampel

bakteri

Duncan<sup>a,b</sup>

jarak	N	Subset	
		1	2
B2	4	81,1675	
B8	4	81,6750	
B6	4	81,8575	
B4	4	81,9525	
B3	4		84,1100
B5	4		84,1550
B1	4		84,3375
B7	4		84,4935
Sig.		,079	,383

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,310.

a. Uses harmonic mean sample size = 4.000

b. Alpha = ,05

**Keterangan :**

- Jarak B1 = jarak 1m; perlakuan 1
- Jarak B2 = jarak 3m; perlakuan 1
- Jarak B3 = jarak 1m; perlakuan 2
- Jarak B4 = jarak 3m; perlakuan 2
- Jarak B5 = jarak 1m; perlakuan 3
- Jarak B6 = jarak 3m; perlakuan 3
- Jarak B7 = jarak 1m; perlakuan 4
- Jarak B8 = jarak 3m; perlakuan 4

Berdasarkan tabel 4.11 dapat diketahui bahwa:

- Pengambilan sampel jarak 1m pada ke-empat perlakuan tidak terdapat perbedaan nyata (homogen).
- Pengambilan sampel jarak 3m pada ke-empat perlakuan tidak terdapat perbedaan nyata (homogen).
- Pengambilan sampel jarak 1m dan 3m pada ke-delapan perlakuan memiliki perbedaan yang nyata

#### 4.2.4.3 Analisa Korelasi

Untuk mengukur tingkat keceratan hubungan linier antara dua variabel, maka kita analisa data dengan menggunakan analisa korelasi.

Hipotesa untuk kecukupan model yang diberikan adalah:

- $H_0$  = tidak ada korelasi antara 2 variabel
- $H_1$  = terdapat korelasi antara 2 variabel

Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Jika p-value < 0.05;  $H_0$  ditolak
- Jika p-value > 0.05;  $H_0$  diterima

Hasil dari analisa korelasi tersebut dapat kita lihat pada tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.12

Tabel Korelasi % Penurunan Konsentrasi senyawa benzena; Jumlah bakteri; Penambahan bakteri; Titik pengambilan sampel; Hari Pengambilan Sampel

	Titik pengambilan sampel	Penambahan bakteri	Hari Pengambilan Sampel	%penurunan konsentrasi senyawa benzena
Penambahan bakteri	0,000 1,000			
Hari Pengambilan Sampel	0,000 1,000	0,000 1,000		
%penurunan konsentrasi senyawa benzena	0,012 0,896	0,363 0,000	0,311 0,000	
Jumlah bakteri	-0,055 0,038	0,233 0,008	-0,685 0,000	-0,075 0,002

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

Berdasarkan tabel 4.12 diketahui bahwa korelasi antara variabel titik pengambilan sampel dan variabel penambahan bakteri adalah sebesar 0.000 diduga antara ke dua variabel mempunyai hubungan yang sangat rendah (Yarnest, 2003), P-value = 1.000 > 0.05 kesimpulannya adalah tidak ada korelasi antara variabel titik pengambilan sampel dan variabel penambahan bakteri. Korelasi antara variabel titik pengambilan sampel dengan variabel hari pengambilan sampel adalah sebesar 0.000 hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat

rendah antara dua variabel (Yarnest, 2003),  $P\text{-value} = 1.000 > 0.05$  kesimpulannya adalah tidak ada korelasi antara variabel titik pengambilan sampel dengan variabel hari pengambilan sampel. Korelasi antara variabel titik pengambilan sampel dengan variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena adalah sebesar 0.012 hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat rendah antara dua variabel (Yarnest, 2003),  $P\text{-value} = 0.896 > 0.05$ , kesimpulannya adalah tidak terdapat korelasi antara variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dengan variabel titik pengambilan sampel. Dan korelasi antara variabel titik pengambilan sampel dengan variabel jumlah bakteri adalah sebesar  $-0.055$  hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat rendah antara dua variabel (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah negatif, hal ini berarti semakin jauh titik pengambilan sampel akan diikuti dengan semakin menurunnya jumlah bakteri.  $P\text{-value} = 0.038 < 0.05$ , maka kesimpulannya adalah terdapat korelasi antara variabel titik pengambilan sampel dengan variabel jumlah bakteri.

Korelasi antara variabel penambahan bakteri terhadap variabel hari pengambilan sampel adalah sebesar 0.000 hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat rendah antara kedua variabel (Yarnest, 2003),  $P\text{-value} = 1.000 > 0.05$ ; kesimpulannya adalah tidak terdapat korelasi antara variabel penambahan bakteri dengan variabel hari pengambilan sampel. Korelasi antara variabel penambahan bakteri terhadap variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena adalah sebesar 0.363 dan terhadap variabel jumlah bakteri adalah sebesar 0.233; hal ini menunjukkan adanya hubungan yang rendah antara kedua variabel (Yarnest, 2003). Arah hubungan menunjukkan arah positif, berarti semakin banyak jumlah penambahan bakteri akan diikuti dengan meningkatnya persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri.  $P\text{-value}$  terhadap persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena =  $0.000 < 0.05$  dan terhadap jumlah bakteri =  $0.008 < 0.05$ ; kesimpulannya adalah terdapat korelasi antara variabel penambahan bakteri dengan variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan variabel jumlah bakteri.

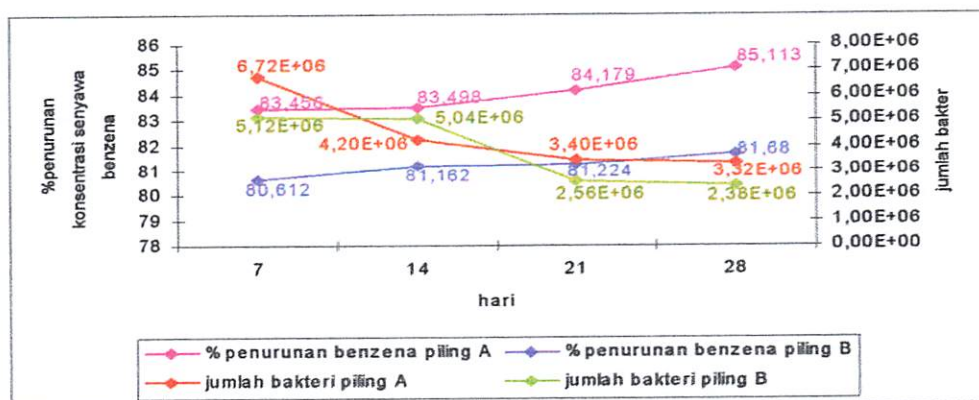
Korelasi antara variabel hari pengambilan sampel dengan variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena adalah sebesar 0.311; hal ini

menunjukkan adanya hubungan yang rendah antara dua variabel (Yarnest, 2003). Arah hubungan menunjukkan nilai positif, berarti semakin lama waktu perlakuan maka persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akan semakin tinggi. Korelasi antara variabel hari pengambilan sampel dengan variabel jumlah bakteri adalah sebesar  $-0.685$ ; hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat rendah antara dua variabel (Yarnest, 2003). Arah hubungan menunjukkan arah negatif, berarti semakin lama waktu perlakuan maka jumlah bakteri akan semakin berkurang.  $P\text{-value} = 0.000 < 0.05$ ; kesimpulannya adalah terdapat korelasi antara variabel hari pengambilan sampel dengan variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan variabel jumlah bakteri.

Korelasi antara variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dengan jumlah bakteri adalah sebesar  $-0.075$ ; hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat rendah antara dua variabel (Yarnest, 2003). Arah hubungan menunjukkan arah negatif, berarti semakin tinggi persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akan diikuti dengan semakin menurunnya jumlah bakteri.  $P\text{-value} = 0.002 < 0.05$ ; kesimpulannya adalah terdapat korelasi antara variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dengan variabel jumlah bakteri.

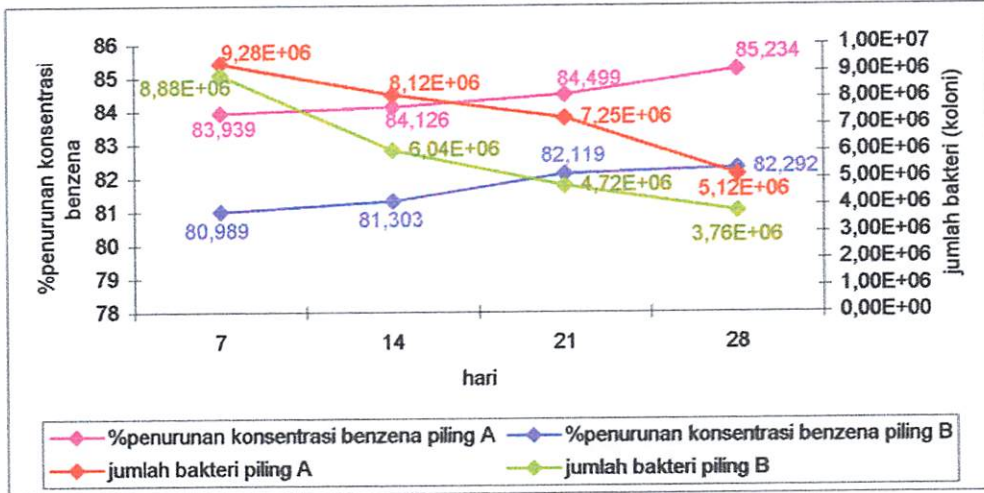
#### 4.2.4.3.1 Grafik Korelasi

Dari hasil perhitungan jumlah bakteri dan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, maka dapat dibuat suatu hubungan antara ke dua variabel tersebut, seperti terlihat pada gambar 4.13; 4.14; 4.15 dan 4.16 berikut:

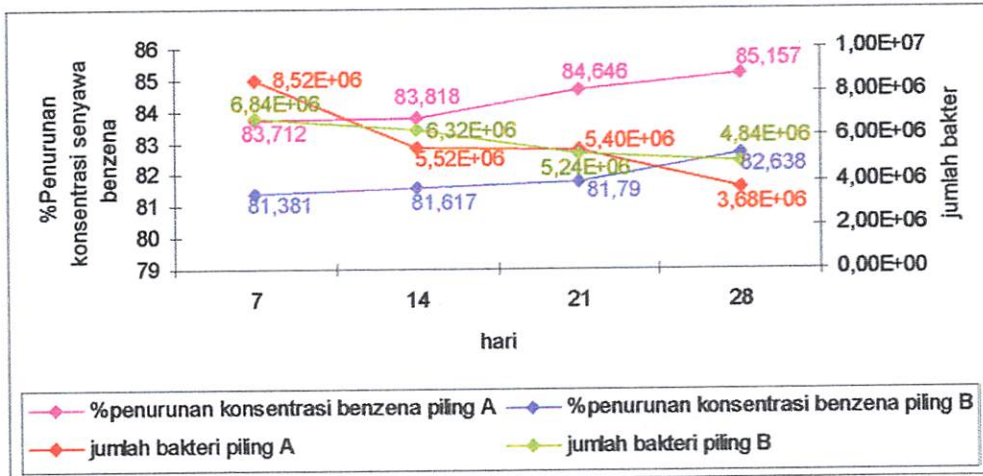


Gambar 4.13

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada Piling A dan Piling B (Perlakuan I)

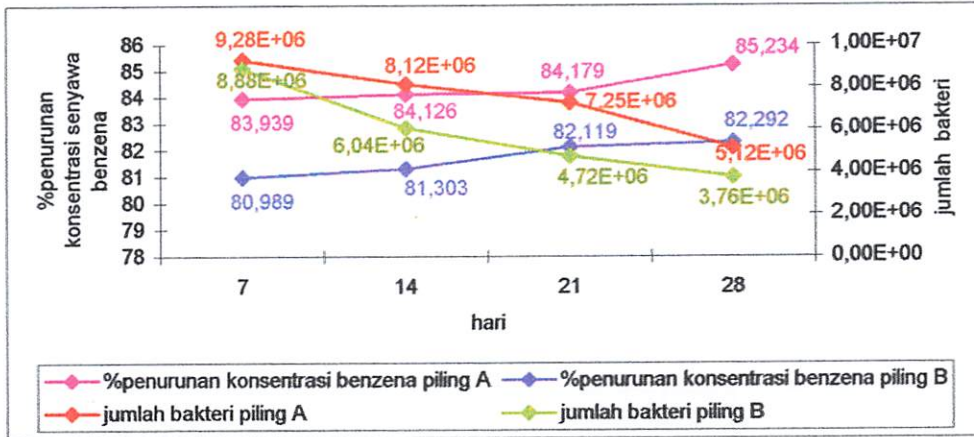


Gambar 4.14  
 Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling A* dan *Piling B* (Perlakuan II)



Gambar 4.15  
 Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling A* dan *Piling B* (Perlakuan III)





Gambar 4.16

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan Jumlah Bakteri Pada *Piling A* dan *Piling B* (Perlakuan IV)

#### 4.2.4.4 Analisa Regresi

Analisa regresi sangat berguna dalam penelitian ini, antara lain:

- Digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel respon dengan variabel prediktor.
- Digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respons.
- Digunakan untuk memprediksi pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respons.

(Iriawan, Nur dan Puji Astuti, Septin, 2006)

##### 4.2.4.4.1 Analisa Regresi % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena

Output analisa regresi dapat dilihat pada tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13

Analisa Regresi % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena versus Penambahan bakteri; Titik Pengambilan Sampel; Hari Pengambilan Sampel

The regression equation is					
benzena = 83,1 - 0,0072 titik + 0,458 penambahan bakteri + 0,393 hari					
S = 1,260	R-Sq = 22,8%	R-Sq(adj) = 21,0%			
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	58,259	19,420	12,24	0,000
Residual Error	124	196,805	1,587		
Total	127	255,064			



#### 4.2.4.4.2 Analisa Regresi Jumlah Bakteri

Output analisa regresi dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut:

Tabel 4.14

Analisa Regresi Jumlah Bakteri Versus Penambahan bakteri;  
Titik Pengambilan Sampel; Hari

The regression equation is					
bakteri = 112 - 0,789 titik - 6,87 penambahan bakteri- 20,2 hari					
S = 22,96		R-Sq = 52,7%		R-Sq(adj) = 51,6%	
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	72959	24320	46,13	0,000
Residual Error	124	65379	527		
Total	127	138337			

#### 4.2.4.4.3 Melihat taksiran parameter

Untuk mengetahui apakah variabel penambahan bakteri, titik pengambilan sampel dan hari pengambilan sampel dapat digunakan untuk memprediksi persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri, maka dapat digunakan output analisa regresi pada tabel 4.13 dan 4.14 di atas.

##### a) % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena

$$Y = 83.1 - 0.0072 X_1 - 0.458 X_2 + 0.393 X_3$$

Dimana:

Y = Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena

X<sub>1</sub> = Titik pengambilan sampel

X<sub>2</sub> = Penambahan bakteri

X<sub>3</sub> = Hari pengambilan sampel

Koefisien regresi sebesar -0.0072 menyatakan bahwa setiap penambahan 1 meter titik pengambilan sampel akan mengurangi persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena sebanyak 0.0072 %. Koefisien regresi sebesar -0.458; menyatakan bahwa setiap penambahan bakteri sebanyak 1 koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus* akan menurunkan konsentrasi senyawa benzena akhir sebanyak 0.458 mg/Kg tanah. Dan koefisien regresi sebesar 0.393; menyatakan bahwa setiap penambahan hari pengambilan sampel sebanyak 1 hari akan

meningkatkan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena sebanyak 0.393%.

b) Jumlah Bakteri

$$Y = 112 - 0.789 X_1 - 6.87 X_2 - 20.2 X_3$$

Dimana:

- Y = Jumlah bakteri
- X<sub>1</sub> = Titik pengambilan sampel
- X<sub>2</sub> = Penambahan bakteri
- X<sub>3</sub> = Hari pengambilan sampel

Koefisien regresi sebesar  $-0.789$  menyatakan bahwa setiap penambahan titik pengambilan sampel sebanyak 1 meter akan mengurangi jumlah bakteri sebanyak  $0.789$  koloni. Koefisien regresi sebesar  $-6.87$ ; menyatakan bahwa setiap penambahan bakteri sebanyak 1 koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus* akan diikuti dengan menurunnya jumlah bakteri sebanyak  $6.87$  koloni. Dan koefisien regresi sebesar  $-20.2$ ; menyatakan bahwa setiap penambahan waktu pengambilan sampel sebanyak 1 hari akan mengurangi jumlah bakteri sebanyak  $20.2$  koloni.

#### 4.2.4.4.3 Interpretasi ANOVA dalam analisa regresi

Dari tabel hasil uji ANOVA untuk analisa regresi di atas, dapat dilihat apakah suatu model yang dihasilkan dapat dipakai untuk memprediksi persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri.

Hipotesa untuk kecukupan model yang diberikan adalah:

- $H_0$  = koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1$  = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Nilai F hitung  $>$  F tabel,  $H_0$  ditolak
- Nilai F hitung  $<$  F tabel,  $H_0$  diterima

Serta digunakan juga:

- Jika p-value  $<$  0.05,  $H_0$  ditolak
- Jika p-value  $>$  0,05,  $H_0$  diterima

a) % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena

Berdasarkan tabel 4.13, diketahui nilai F hitung adalah 12.24 dan p-value = 0.000. Dari tabel distribusi F, didapatkan nilai  $F_{0,05;3;124}$  adalah 2.60. Karena diketahui F hitung > F tabel dan p-value < 0.05; maka  $H_0$  ditolak, berarti faktor titik pengambilan sampel, faktor penambahan bakteri dan faktor hari pengambilan sampel memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena.

b) Jumlah Bakteri

Berdasarkan tabel 4.14, diketahui nilai F hitung adalah 46.13 dan p-value = 0.000. Dari tabel distribusi F, didapatkan nilai  $F_{0,05;3;124}$  adalah 2.60. Karena diketahui F hitung > F tabel dan p-value < 0.05; maka  $H_0$  ditolak, berarti faktor titik pengambilan sampel, faktor penambahan bakteri dan faktor hari pengambilan sampel memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap jumlah bakteri.

#### 4.2.4.4.3.4 Memeriksa ukuran kecukupan model

Dari tabel 4.13 dan 4.14 diatas diketahui bahwa:

a) % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena

Angka koefisien korelasi (r) sebesar 0.5. Hal ini menunjukkan hubungan yang kuat (mendekati 1) antara variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dengan variasi penambahan bakteri, hari pengambilan sampel dan titik pengambilan sampel. Nilai koefisien determinasi model regresi ( $R^2$ ) adalah 22.8%. Artinya, 22.8% variabel sampel persentase penurunan senyawa benzena dipengaruhi oleh variasi penambahan bakteri, variasi hari pengambilan sampel dan variasi titik pengambilan sampel.

b) Jumlah Bakteri

Angka koefisien korelasi (r) sebesar 0.73. Hal ini menunjukkan hubungan yang kuat (mendekati 1) antara variabel jumlah bakteri dengan variasi penambahan bakteri, hari pengambilan sampel dan titik pengambilan sampel. Nilai koefisien determinasi model regresi ( $R^2$ ) adalah 52.7%. Artinya,

52.7% variabel jumlah bakteri dipengaruhi oleh variasi penambahan bakteri, variasi hari pengambilan sampel dan variasi titik pengambilan sampel.

#### **4.2.5 Pembahasan Pengaruh Faktor Titik Pengambilan Sampel, Faktor Hari Pengambilan Sampel dan Faktor Penambahan Bakteri Terhadap % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena dan Jumlah Bakteri**

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri spesies *Bacillus Cereus* mempunyai kemampuan untuk menurunkan konsentrasi senyawa benzena. Dengan melakukan variasi titik pengambilan sampel, hari pengambilan sampel dan penambahan jumlah bakteri spesies *Bacillus Cereus* maka diperoleh data hasil persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri yang optimal.

Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena yang terjadi pada tiap *piling* berkisar antara 80.612 % sampai 85.234 %. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena terbesar yaitu sebesar 85.34 % terjadi dengan memvariasikan jumlah konsentrasi senyawa benzena awal = 65,807.14 mg/Kg tanah, dengan lama waktu perlakuan 28 hari dan penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus*, sedangkan untuk persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena terkecil terjadi yaitu sebesar 80.612 % terjadi pada variasi konsentrasi senyawa benzena awal 55,966.82 mg/Kg tanah dengan lama waktu perlakuan 7 hari dan tanpa penambahan bakteri spesies *Bacillus Cereus*. Jumlah bakteri pada tiap *piling* diketahui berkisar antara  $2,38 \cdot 10^6$ - $9,28 \cdot 10^6$ . Jumlah bakteri tertinggi terdapat pada *piling* A perlakuan 4 yaitu sebesar  $9,28 \cdot 10^6$  terjadi pada hari ke-7 dan jumlah bakteri terendah terjadi pada *piling* B perlakuan 1 yaitu sebesar  $2,38 \cdot 10^6$  terjadi pada hari ke-14.

Berdasarkan gambar 4.5; 4.6; 4.7; 4.8; 4.9; 4.10; 4.11; dan 4.12 terlihat bahwa pada 7 hari pertama perlakuan, untuk setiap *piling* mengalami persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena yang tinggi, yaitu berkisar  $\pm 80\%$  dengan jumlah bakteri yang sangat besar. Hal ini sesuai dengan teori bahwa tersedianya substrat dalam jumlah yang banyak merupakan faktor yang sangat penting, karena ketersediaan substrat diperlukan sebagai sumber energi dan karbon bagi pertumbuhan dan perbanyakan sel bakteri yang akan melakukan proses biodegradasi (EPA, 2007).

Pada umumnya substrat atau polutan yang mempunyai potensi memberikan atau melepas energi yang paling tinggi akan didegradasi terlebih dahulu. Hal ini menunjukkan bahwa pada kasus pencemaran oleh hidrokarbon, maka senyawa benzena akan didegradasi terlebih dahulu dengan laju degradasi yang lebih cepat bila dibandingkan dengan *naphthalen* dan *pyrene* (Notodarmojo, Suprihanto, 2005). Disamping itu, keadaan di atas juga dapat disebabkan karena bakteri yang tumbuh terlebih dahulu adalah bakteri pendegradasi minyak bumi yang mendominasi kultur, yaitu bakteri yang mula-mula menggunakan komponen minyak yang mudah terdegradasi sehingga mampu mencapai konsentrasi sel yang tinggi dengan cepat. Isolat bakteri tersebut biasanya merupakan pengoksidasi alkana normal dan seri aromatik karena komponen ini mendominasi kebanyakan minyak bumi, lebih mudah larut dalam air, dan terdifusi ke dalam membran sel bakteri.

Pada saat ini, diperkirakan bahwa bakteri telah melewati fase adaptasi dan sedang berada pada fase eksponensial. Bila bakteri berada dalam suatu media yang sesuai dan pada keadaan yang optimum bagi pertumbuhannya, maka terjadi kenaikan jumlah yang amat tinggi dalam waktu yang relatif pendek (J. Pelczar, Michael., Jr dan Chan, 1986). Menurut Dwidjoseputro (1998), pada fase pertama yaitu 1 sampai 2 jam setelah inokulasi bakteri belum dapat mengadakan pembiakan (fase adaptasi). Fase ini disusul dengan fase kedua, dimana bakteri mulai bertambah sedikit demi sedikit (fase permulaan pembiakan). Fase kedua ini kemudian disusul dengan fase eksponensial, dimana pembiakan bakteri berlangsung paling cepat. Diketahui bahwa dalam waktu 24 jam sel-sel bakteri akan berkembang mencapai 10 sampai 15 milyar sel bakteri (J. Pelczar, Michael., Jr dan Chan, 1986).

Beberapa syarat penting untuk pertumbuhan biomass di dalam suatu kultur bakteri adalah terpenuhinya: sumber energi, sumber karbon, akseptor elektron dan lingkungan fisik-kimia yang diperlukan (Slamet, Agus dan Masduqi, Ali, 2000). Selain itu, kemampuan sel mikroorganisme untuk melanjutkan pertumbuhannya sampai minyak bumi terdegradasi secara sempurna tergantung pada suplai oksigen dan nutrisi (Nugroho Hadi, Sapto, 2005).

Proses biodegradasi pada senyawa aromatik lebih cepat terjadi pada kondisi lingkungan yang aerobik (Chamberlain, Skip, 1999). Pada *piling* yang dikondisikan bersifat aerob, menjadikan bakteri mendapat suplai oksigen yang baik, sehingga oksigen sebagai donor elektron dan sebagai salah satu faktor penting penunjang pertumbuhan bakteri terdapat dalam jumlah yang banyak. Hal ini menjelaskan tingginya tingkat pertumbuhan bakteri pada *piling*.

Hal tersebut menunjukkan adanya korelasi yang kuat yaitu semakin banyak kandungan organik tanah dan oksigen, maka jumlah dan jenis mikroorganisme juga semakin banyak pula (Suprihanto, Notodarmojo, 2005). Hal ini didukung pula oleh Suriawiria dalam Doni G wibisono dan Ibrahim Arsyad, (2003) bahwa laju pertumbuhan mikroba merupakan fungsi dari pertumbuhan individu mikroba dan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan sumber karbon sebagai substrat atau nutrisi.

Tingginya konsentrasi substrat dalam tanah yang dapat digunakan sebagai sumber energi dan karbon bagi bakteri, menyebabkan banyaknya jumlah bakteri yang tumbuh dan jumlah enzim yang dihasilkan akan meningkat, maka penurunan konsentrasi senyawa benzena yang terjadi akan semakin tinggi pula. Proses degradasi terjadi karena adanya enzim yang dihasilkan oleh sel bakteri dan berfungsi sebagai katalis dalam reaksi degradasi tersebut. Degradasi polutan secara aktif mengikutsertakan enzim dalam proses metabolisme.

Tingginya nilai penurunan konsentrasi senyawa benzena, dapat dikatakan bahwa pertumbuhan bakteri telah mencapai periode eksponensial. Tahap ini akan berlanjut sampai sumber karbon dan nutrisi yang ada tidak mampu lagi menunjang pertumbuhan bakteri. Tahap pertumbuhan eksponensial pada sampel tanah dicapai dalam waktu yang relatif cepat. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

- Besarnya jumlah bakteri yang terkandung dalam tanah. Dengan demikian jumlah mikroorganisme yang tersedia telah cukup banyak. Menurut Suprihanto Notodarmojo (2005) variasi mikroorganisme akan menentukan berhasil tidaknya suatu proses degradasi terjadi secara lengkap.
- Tersedianya sumber karbon dengan konsentrasi yang tinggi sebagai sumber energi dan pertumbuhan bakteri.

- Kondisi lingkungan yang mendukung bagi pertumbuhan dan perkembangan biakkan mikroba. Dengan kebutuhan udara, air, nutrien, suhu dan pH yang sesuai bagi keperluan bakteri.

Pada hari ke- 7 sampai ke-28 terlihat ada peningkatan terhadap penurunan konsentrasi senyawa benzena walaupun nilainya tidak banyak seperti pada hari ke-7 pertama, sedangkan untuk jumlah bakteri terjadi penurunan. Pada suatu kultur dapat terjadi pertumbuhan bakteri secara eksponensial pada saat konsentrasi substrat tinggi dan laju pertumbuhan akan menurun seiring dengan berkurangnya substrat (Gaudy dan Gaudy dalam Wibisono, Doni G dan Arsyad, Ibrahim, 2003). Penurunan terhadap persentase pertumbuhan bakteri secara signifikan dapat disebabkan karena bakteri telah memasuki periode stasioner, yaitu suatu kondisi dimana terdapat beberapa bakteri telah mati dan beberapa bakteri yang lain tetap tumbuh dan membelah.

Dengan berkurang atau habisnya karbon, maka pertumbuhan bakteri akan menurun demikian pula dengan jumlah sel. Selain akibat habis atau berkurangnya sumber karbon, pertumbuhan biomass dan juga jumlah biomass yang aktif dapat berkurang karena kehabisan akseptor elektron, adanya sifat racun dari produk akhir degradasi atau produk akhir metabolis yang bersifat asam (Notodarmojo, Suprihanto, 2005). Dengan dihasilkannya produk akhir hasil degradasi yang bersifat racun maka kondisi lingkungan juga akan terpengaruh. Sehingga kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan bakteri tidak dapat terciptakan.

Hasil analisa korelasi (tabel 4.12) menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dengan variabel jumlah bakteri, hari pengambilan sampel dan penambahan bakteri. Untuk jumlah bakteri memiliki korelasi dengan variabel titik pengambilan sampel, penambahan bakteri, hari pengambilan sampel dan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena.

Hasil analisa regresi pada tabel 13, menunjukkan bahwa 22.8% sampel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dipengaruhi oleh variabel penambahan bakteri, hari pengambilan sampel dan titik pengambilan sampel. Penambahan 1 meter titik pengambilan sampel akan diikuti dengan menurunnya persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena sebesar 0.0072%,

penambahan 1 koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus* akan menurunkan konsentrasi senyawa benzena akhir sebanyak 0.458 mg/Kg tanah dan penambahan 1 hari pengambilan sampel akan meningkatkan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena sebesar 0.393%.

Hasil analisa regresi pada tabel 4.14, menunjukkan bahwa 52.7% sampel jumlah bakteri dipengaruhi oleh variabel penambahan bakteri, hari pengambilan sampel dan titik pengambilan sampel. Penambahan 1 meter titik pengambilan sampel akan mengurangi jumlah bakteri sebanyak 0.789 koloni, penambahan 1 koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus* akan diikuti dengan penurunan jumlah bakteri sebanyak 6.87 koloni dan penambahan 1 hari pengambilan sampel akan mengurangi jumlah bakteri sebanyak 20.2 koloni.

### **4.3 Hubungan Proses Biodegradasi Terhadap pH dan Kadar Air**

#### **4.3.1 Penurunan nilai pH**

Dalam proses respirasi bakteri terjadi pembongkaran substrat sehingga dihasilkan energi yang diperlukan oleh bakteri tersebut. Dalam respirasi ini bakteri mengoksidasikan substrat menjadi air dan karbondioksida, sedang bakteri sendiri memperoleh energi. Kegiatan fisiologis seperti penyusunan zat organik, pencernaan makanan, pembongkaran zat makanan hanya dapat berlangsung jika bakteri mempunyai biokatalisator atau enzim (Dwidjoseputro, 1998).

Perubahan pH menunjukkan adanya aktifitas bakteri dalam tanah yang didukung oleh enzim (Spill Technology & Remediation Series, 1996). Parameter pH akan mempengaruhi kemampuan fungsi-fungsi sel, seperti transpor melalui membran sel, dan keseimbangan reaksi yang terkatalis oleh enzim (Notodarmojo, Suprihanto, 2005).

Hasil pengukuran pH selama proses biodegradasi dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut:



Tabel: 4.15

## Nilai pH Selama Proses Degradasi

Perlakuan	Piling	Hari			
		7	14	21	28
I	A	6.21	6.08	6.06	5.89
	B	6.18	6.07	6.04	5.87
II	A	6.14	6.97	5.87	5.84
	B	6.09	5.93	5.88	5.85
III	A	6.11	5.93	5.85	5.81
	B	6.12	5.95	5.85	5.82
IV	A	6.11	5.95	5.86	5.79
	B	6.09	5.96	5.87	5.77

Sumber: Hasil Penelitian

## Keterangan:

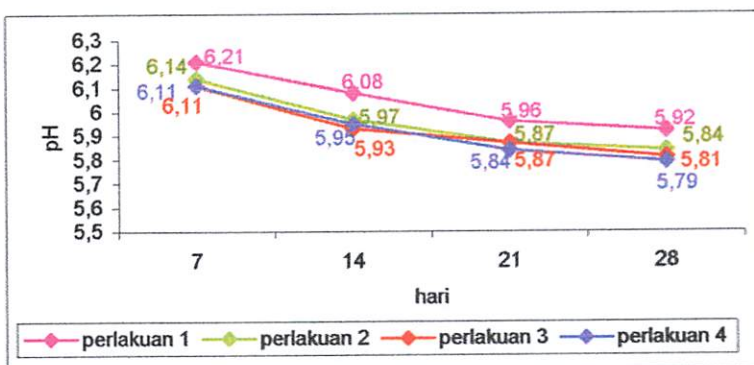
Perlakuan I : Tanpa penambahan bakteri

Perlakuan II : Dilakukan penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

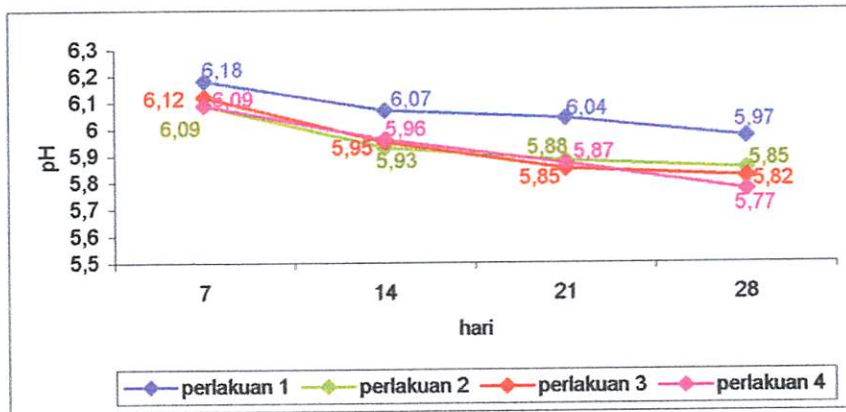
Perlakuan III : Dilakukan penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

Perlakuan IV : Dilakukan penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*

Untuk lebih memudahkan pembahasan mengenai nilai pH, maka data tabel 4.15 diatas akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik nilai pH masing-masing perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.17 dan 4.18 berikut:



Gambar 4.17  
Grafik Penurunan pH Pada Piling A



Gambar 4.18  
Grafik Penurunan pH Pada *Piling B*

Berdasarkan gambar 4.17 dan 4.18, diketahui bahwa nilai pH pada setiap *piling* mengalami penurunan seiring semakin lama waktu perlakuan. Penurunan nilai pH tertinggi *piling A* terjadi pada perlakuan 4 (variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 5.79 dan penurunan nilai pH terendah terjadi pada perlakuan 1 (tidak dilakukan variasi penambahan bakteri) yaitu sebesar 5.92. Sedangkan *piling B* diketahui bahwa penurunan nilai pH tertinggi terjadi pada perlakuan 4 (dilakukan variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 5.77 dan nilai penurunan nilai pH terendah terjadi pada perlakuan 1 (tidak dilakukan variasi penambahan bakteri) yaitu sebesar 5.97.

#### 4.3.2 Penurunan Nilai Kadar Air

Bagi mikroorganisme tanah, air diperlukan selain untuk melarutkan unsur hara yang masuk ke dalam sel, air merupakan bahan utama penyusun sel, di dalam sel air merupakan medium untuk reaksi metabolisme sel (Anas dalam Widyati, Enny, 2004). Mikroorganisme tanah membutuhkan kondisi tanah yang lembab untuk pertumbuhan yang baik. Kelembaban yang berlebihan dapat menghalangi pergerakan udara di dalam tanah sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen yang ada, yang merupakan faktor penting untuk proses metabolisme mikroba aerobik (EPA, 2007).

Pada umumnya, kadar air dalam tanah dijaga antara 40-85 % dari *field capacity* selama proses remediasi berlangsung (Fahnestico, Von;

Wickramanayake; Kratzke; Major, 1998). Jika nilai kadar air berada di bawah 40% maka proses biodegradasi akan terganggu dan berjalan lambat sedangkan jika berada di atas 85% akan mengakibatkan terciptanya suasana anaerob.

Hasil penelitian kadar air selama proses biodegradasi dapat dilihat pada tabel 4.17 berikut:

Tabel: 4.16  
 Nilai Kadar Air (%)

Perlakuan	Piling	Hari			
		7	14	21	28
I	A	63	59	57	53
	B	69	59	55	51
II	A	62	58	53	48
	B	64	55	51	49
III	A	60	54	51	47
	B	64	56	50	48
IV	A	68	57	48	44
	B	60	55	50	50

Sumber: Hasil Penelitian

Keterangan:

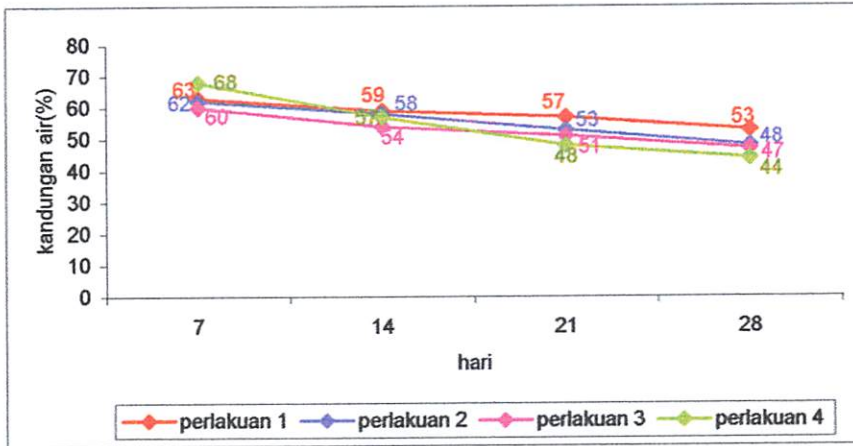
Perlakuan I : Tanpa penambahan bakteri

Perlakuan II : Dilakukan penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus*

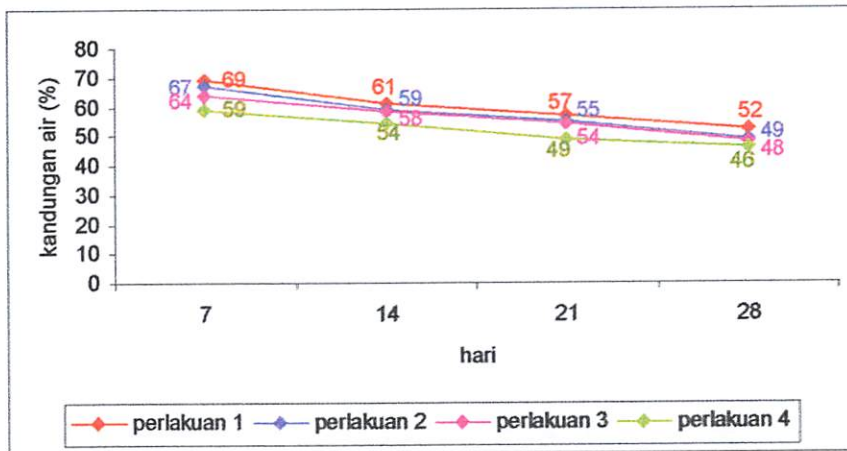
Perlakuan III : Dilakukan penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus*

Perlakuan IV : Dilakukan penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus*

Untuk lebih memudahkan pembahasan mengenai nilai kadar air dalam tanah, maka data tabel 4.16 diatas akan ditampilkan dalam bentuk grafik 4.19 dan 4.20 sebagai berikut:



Gambar 4.19  
Grafik Kadar Air *Piling A*



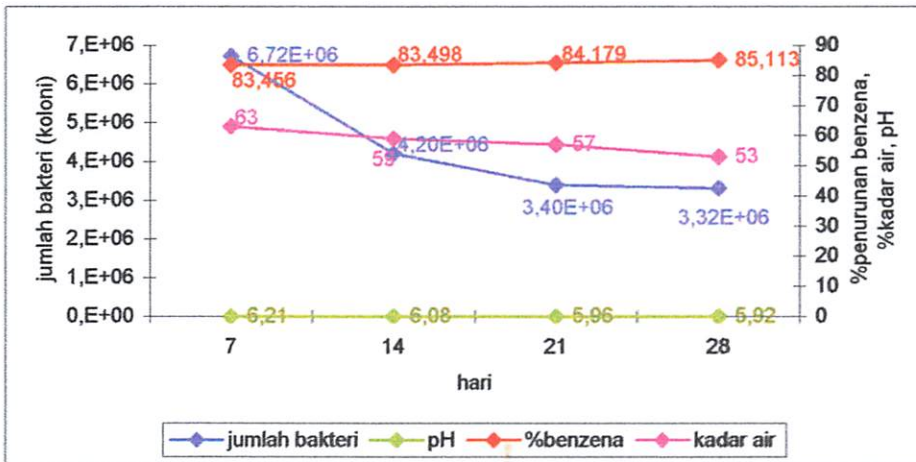
Gambar 4.20  
Grafik Kadar Air *Piling B*

Berdasarkan gambar 4.19 dan 4.20 diketahui bahwa semakin lama proses biodegradasi berlangsung maka nilai kadar air pada setiap *piling* mengalami penurunan. Penurunan nilai kadar air terendah *piling A* terjadi pada perlakuan 1 (tidak dilakukan variasi penambahan bakteri) yaitu sebesar 53% dan penurunan nilai kadar air tertinggi terjadi pada perlakuan 4 (variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 44%. Sedangkan *piling B* diketahui bahwa penurunan nilai kadar air terendah terjadi pada perlakuan 1 (tidak dilakukan variasi penambahan bakteri) yaitu sebesar 52% dan penurunan nilai kadar air tertinggi terjadi pada perlakuan 4 (variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*) yaitu sebesar 46%.



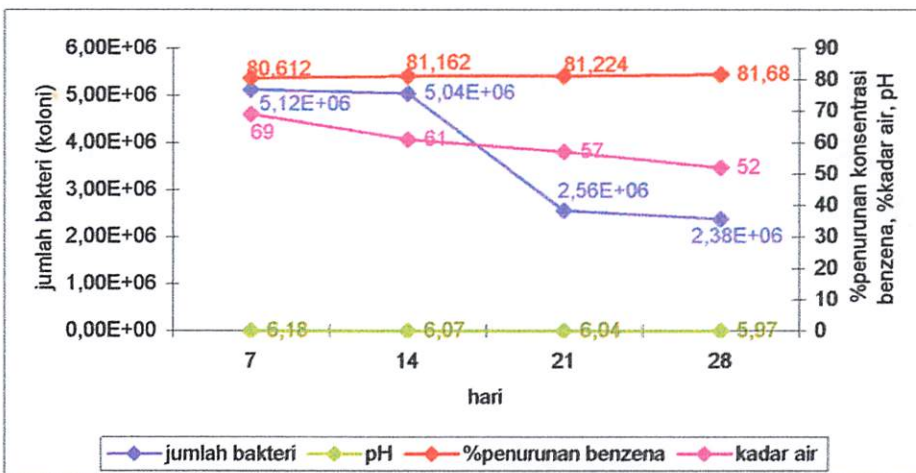
### 4.3.3 Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH dan Kadar Air

Untuk memudahkan pembahasan mengenai hubungan pengaruh antara persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dengan penurunan nilai pH dan kadar air, maka tabel data 4.15 dan 4.16 di atas akan ditampilkan dalam bentuk grafik-grafik sebagai berikut:



Gambar 4.21

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH dan Kadar Air Pada *Piling A* (Tanpa Penambahan Bakteri)

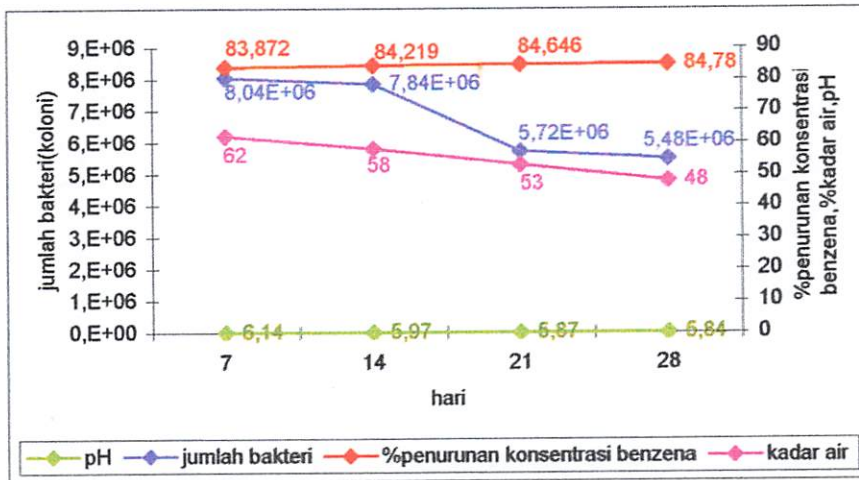


Gambar 4.22

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH dan Kadar Air Pada *Piling B* (Tanpa Penambahan Bakteri)

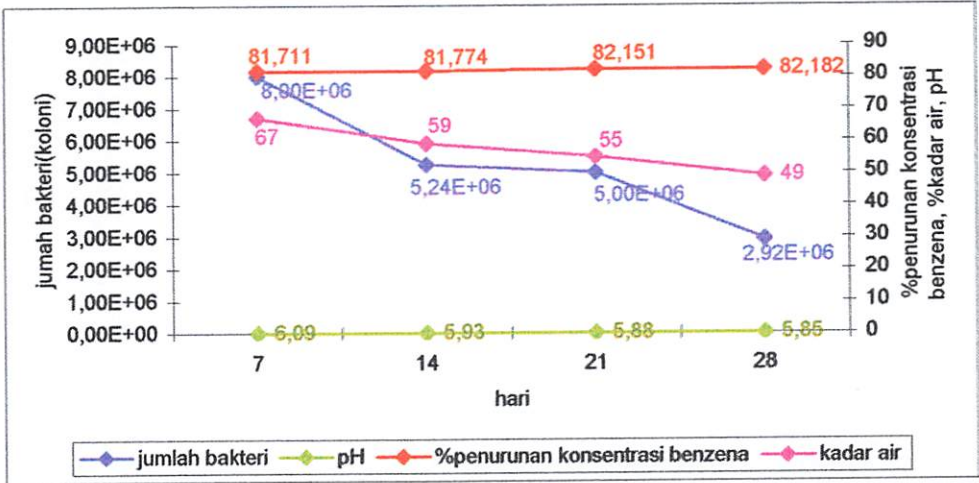
Berdasarkan gambar 4.21 diketahui bahwa nilai pH *piling* A berkisar antara 5.92-6.21. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena paling optimal sebesar 83.456% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $6,72 \cdot 10^6$ , pH = 6.21, dan kadar air = 63%, selanjutnya proses biodegradasi berlangsung lambat sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi 85.113% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $3,32 \cdot 10^6$  koloni, pH = 5.92 dan kadar air = 53%.

Berdasarkan gambar 4.22 diketahui bahwa nilai pH *piling* B berkisar antara 5.97-6.25. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena paling optimal sebesar 80.612% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $5,12 \cdot 10^6$ , pH = 6.18, dan kadar air = 69%, selanjutnya proses biodegradasi berlangsung lambat sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi 81.68% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $2,38 \cdot 10^6$  koloni, pH = 5.97 dan kadar air = 52%.



Gambar 4.23

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan nilai pH dan Kadar Air Pada *Piling* A (Variasi Penambahan Bakteri  $1,84 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

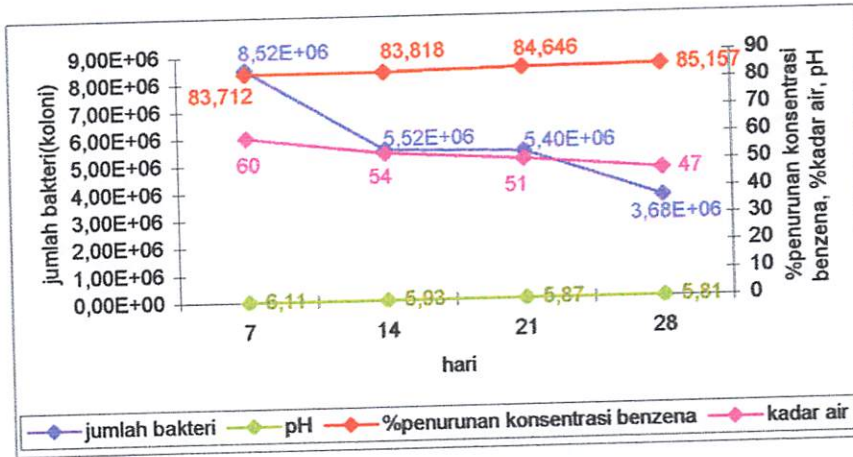


Gambar 4.24  
 Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan nilai pH dan Kadar Air Pada *Piling B* (Variasi Penambahan Bakteri  $1,84 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

Berdasarkan gambar 4.23 diketahui bahwa nilai pH *piling A* berkisar antara 5.84-6.14. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena paling optimal sebesar 83.872% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $8,04 \cdot 10^6$  koloni, pH = 6.14, dan kadar air = 62%, selanjutnya proses biodegradasi berlangsung lambat sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi 84.78% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $5,48 \cdot 10^6$  koloni, pH = 5.84 dan kadar air = 48%.

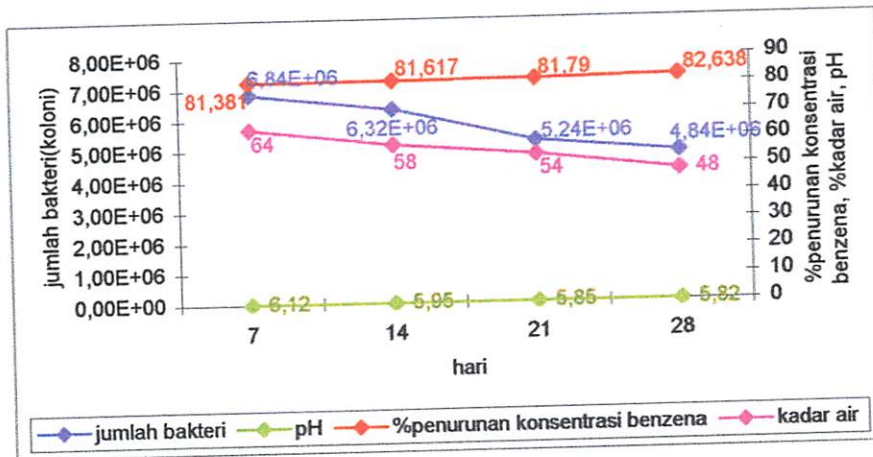
Berdasarkan gambar 4.24 diketahui bahwa nilai pH *piling B* berkisar antara 5.85-6.09. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena paling optimal sebesar 81.711% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $8,00 \cdot 10^6$  koloni, pH = 6.09, dan kadar air = 67%, selanjutnya proses biodegradasi berlangsung lambat sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi 82.182% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $2,92 \cdot 10^6$  koloni, pH = 5.85 dan kadar air = 49%.





Gambar 4.25

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan nilai pH dan Kadar Air Pada *Piling A* (Variasi Penambahan Bakteri  $1,60 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)



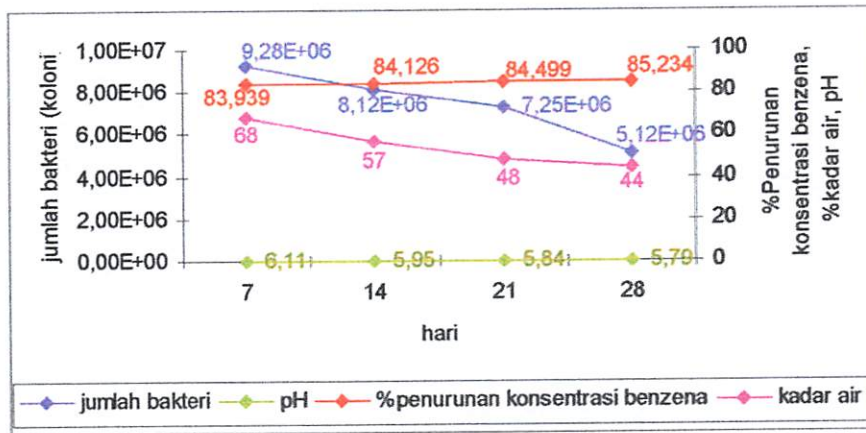
Gambar 4.26

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan nilai pH dan Kadar Air Pada *Piling B* (Variasi Penambahan Bakteri  $1,60 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

Berdasarkan gambar 4.25 diketahui bahwa nilai pH *piling A* berkisar antara 5.81-6.11. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena paling optimal sebesar 83.712% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $8,52 \cdot 10^6$  koloni, pH = 6.11, dan kadar air = 60%, selanjutnya proses biodegradasi berlangsung lambat sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi 85.157% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $3,68 \cdot 10^6$  koloni, pH = 5.81 dan kadar air = 47%.

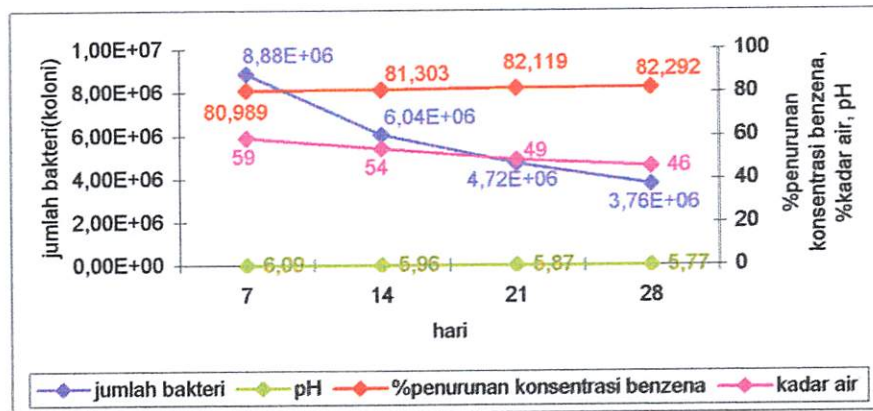


Berdasarkan gambar 4.26 diketahui bahwa nilai pH *piling* B berkisar antara 5.826.12. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena paling optimal sebesar 81.381% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $6,84 \cdot 10^6$  koloni, pH = 6.12, dan kadar air = 64%, selanjutnya proses biodegradasi berlangsung lambat sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi 82.636% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $4,84 \cdot 10^6$  koloni, pH = 5.82 dan kadar air = 48%.



Gambar 4.27

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH dan Kadar Air Pada *Piling* A (Variasi Penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)



Gambar 4.28

Grafik Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai pH dan Kadar Air Pada *Piling* B (Variasi Penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  Koloni Bakteri *Bacillus Cereus*)

Berdasarkan gambar 4.27 diketahui bahwa nilai pH *piling* A berkisar antara 5.79-6.11. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena terendah sebesar 83.872% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $9,28.10^6$ , pH = 6.11, dan kadar air = 68%, sedangkan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena tertinggi sebesar 85.234% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $5,12.10^6$ , pH = 5.79 dan kadar air = 44%.

Berdasarkan gambar 4.28 diketahui bahwa nilai pH *piling* B berkisar antara 5.77-6.09. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena terendah sebesar 80.989% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $8,88.10^6$ , pH = 6.09, dan kadar air = 59%, sedangkan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena tertinggi sebesar 82.292% terjadi pada jumlah bakteri sebesar  $3,76.10^6$ , pH = 5.77 dan kadar air = 46%.

#### **4.3.4 Analisa Data Statistik**

##### **4.3.4.1 Analisa Korelasi**

Untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linier antara dua variabel, maka kita analisa data dengan menggunakan analisa korelasi.

Hipotesa untuk kecukupan model yang diberikan adalah:

- $H_0$ : tidak ada korelasi antara 2 variabel
- $H_1$ : terdapat korelasi antara 2 variabel

Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Jika p-value < 0.05,  $H_0$  ditolak
- Jika p-value > 0.05,  $H_0$  diterima

Hasil dari analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel 4.17 berikut:

Tabel 4.17

Tabel Korelasi % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena;  
Jumlah Bakteri; pH; Kadar Air

	% penurunan konsentrasi senyawa benzena	Jumlah bakteri	pH
Jumlah bakteri	0,490 0,001		
pH	-0,9316 0,000	-0,736 0,000	
Kadar air	-0,912 0,000	-0,902 0,000	0,928 0,000

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

Dari tabel 4.17 dapat diketahui bahwa korelasi antara variabel jumlah bakteri terhadap persentase penurunan senyawa benzena adalah sebesar 0.490 menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sedang (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah positif, berarti semakin tinggi persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, maka penurunan jumlah bakteri akan semakin tinggi pula. P-value = 0.001 < 0.005, maka korelasinya sangat nyata. Korelasi antara variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena terhadap pH sebesar -0.9316 dan terhadap kadar air adalah sebesar -0.912 menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sangat rendah (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah negatif, berarti semakin tinggi persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena maka nilai pH dan kadar air akan semakin menurun. P-value = 0.000 < 0.05 maka korelasinya sangat signifikan.

Korelasi jumlah bakteri terhadap pH adalah sebesar -0.736 dan terhadap kadar air adalah sebesar -0.902, menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sangat rendah (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah negatif, berarti semakin tinggi penurunan nilai kadar air dan pH maka jumlah bakteri akan semakin menurun. P-value = 0.000 < 0.05 maka korelasinya sangat nyata.

Korelasi antara nilai pH terhadap kadar air adalah sebesar 0.928 menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah positif, berarti semakin rendah

nilai pH maka nilai kadar air juga akan semakin menurun.  $P\text{-value} = 0.000 < 0.05$  maka korelasinya sangat nyata.

#### 4.3.4.2 Analisa Regresi

Hipotesa untuk model yang diberikan adalah:

- $H_0$  = Koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1$  = Koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Nilai F hitung  $>$  F tabel,  $H_0$  ditolak
- Nilai F hitung  $<$  F tabel,  $H_0$  diterima

Serta digunakan juga:

- Jika  $p\text{-value} < 0.05$ ,  $H_0$  ditolak
- Jika  $p\text{-value} > 0.05$ ,  $H_0$  diterima

Tabel 4.18

Analisa Regresi pH Versus % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena;  
Jumlah Bakteri; Kadar Air

The regression equation is					
pH = 5,00 - 0,00124 benzena + 0,00107 bakteri + 0,00302					
kadar air					
S = 0,05264	R-Sq = 90,4%	R-Sq(adj) = 89,3%			
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,91506	0,22876	82,56	0,000
Residual Error	35	0,09698	0,00277		
Total	39	1,01204			

Berdasarkan tabel 4.18 diatas diketahui bahwa nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 90.4%. Artinya bahwa 90.4% nilai pH dipengaruhi oleh nilai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dan kadar air. Koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.95, karena nilai  $r$  mendekati 1 maka terdapat hubungan yang kuat antara nilai pH dengan variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dan kadar air.

Taksiran parameter sebesar  $-0.00124$ , artinya apabila nilai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena meningkat sebanyak 1% maka akan diikuti dengan menurunnya nilai pH sebanyak 0.00124. Taksiran parameter sebesar 0.00107, artinya apabila jumlah bakteri berkurang sebanyak 1% maka nilai pH akan berkurang pula sebesar 0.00107. Taksiran parameter regresi sebesar 0.00302, artinya apabila nilai kadar air berkurang sebanyak 1% maka nilai pH akan menurun sebanyak 0.00302. Nilai  $F_{0.05;35} = 1.697 < 82.56$  dan  $p\text{-value} = 0.000 < 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak atau variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dan kadar air berpengaruh secara signifikan terhadap nilai pH.

Tabel 4.19

Analisa regresi Kadar Air Versus % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena;  
Jumlah Bakteri; pH

The regression equation is					
kadar air = 36,5 - 0,236 benzena + 0,0241 bakteri + 9,24 pH					
S = 2,913		R-Sq = 96,0%		R-Sq(adj) = 95,5%	
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	7082,0	1770,5	208,59	0,000
Residual Error	35	297,1	8,5		
Total	39	7379,1			

Berdasarkan tabel 4.19 diatas, diketahui bahwa nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 96.0% artinya bahwa 96% nilai kadar air dipengaruhi oleh nilai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dan pH. Koefisien korelasi ( $r$ ) = 0.98, karena nilai  $r$  mendekati 1 maka terdapat hubungan yang kuat antara nilai kadar air dengan variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dan pH.

Taksiran parameter sebesar  $-0.236$  menyatakan bahwa jika persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena meningkat sebanyak 1% maka akan diikuti dengan menurunnya nilai kadar air sebanyak 0.236%. Taksiran parameter sebesar 0.0241 menyatakan bahwa jika jumlah bakteri berkurang sebanyak 1% maka akan diikuti dengan menurunnya nilai kadar air sebesar 0.0241%. Taksiran

parameter regresi sebesar 9.24 menyatakan bahwa jika nilai pH mengalami penurunan sebanyak 1 maka nilai kadar air akan semakin menurun sebanyak 9.24%. Nilai  $F_{0.05;35} = 1.697 < 208.59$  dan  $p\text{-value} = 0.000 < 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak atau variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dan nilai pH berpengaruh terhadap nilai kadar air secara signifikan.

#### 4.3.4.3 Pembahasan Hubungan Proses Biodegradasi Terhadap Nilai pH dan Kadar Air

Berdasarkan gambar 4.21; 4.22; 4.23; 4.24; 4.25; 4.26; 4.27 dan 4.28 diketahui bahwa proses biodegradasi berlangsung dalam suasana asam. Penurunan nilai pH *piling* A tertinggi sebesar 5.79 dari nilai awal sebesar 6.28 dan kadar air sebesar 44 % dari nilai awal sebesar 85%, terjadi pada hari ke-28 dengan variasi penambahan bakteri sebanyak  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus*. Untuk penurunan nilai pH *piling* B tertinggi terjadi sebesar 5.77 dari nilai awal sebesar 6.25 dan kadar air sebesar 46 % dari nilai awal sebesar 85%, terjadi pada hari ke-28 dengan variasi penambahan bakteri  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus*.

Berdasarkan pengamatan, didapat hubungan bahwa semakin tinggi tingkat penurunan konsentrasi senyawa benzena maka jumlah bakteri, nilai kadar air dan nilai pH akan semakin berkurang. Kondisi awal nilai pH diketahui berkisar antara 6.25-6.28; nilai pH yang asam diakibatkan karena tanah tercemar senyawa benzena, konsentrasi senyawa volatil yang tinggi menyebabkan tanah menjadi asam (Spill Technology & Remediation Series, 1996).

Proses degradasi terjadi karena adanya enzim yang dihasilkan oleh sel bakteri dan berfungsi sebagai katalis dalam reaksi degradasi tersebut. Degradasi polutan secara aktif mengikutsertakan enzim dalam proses metabolisme. Tingginya nilai konsentrasi senyawa benzena dalam tanah menyebabkan bakteri memiliki sumber energi yang mencukupi untuk melakukan metabolisme, sehingga enzim yang dibutuhkan untuk mensintesa senyawa benzena dapat terus diproduksi.

Pada proses biodegradasi senyawa benzena, sifat aromatisasi senyawa benzena akan dihilangkan melalui enzim *dehydrogenase* dan diubah dari benzena

*dihydriol* menjadi *catechol* (1,2-dihydroxybenzene). Selanjutnya *catechol* akan didegradasi menjadi senyawa yang dapat masuk ke dalam siklus *Krebs* (siklus asam sitrat), yaitu *succinate*, asetil KoA, *pyruvat* dan *acetaldehyde* yang kesemua senyawa ini bersifat asam (Nugroho Hadi, Sapto, 2005). Jadi disamping kondisi awal tanah yang memang telah bersifat asam karena mengandung senyawa volatil, nilai pH yang semakin turun selama proses biodegradasi berlangsung disebabkan karena semakin bertumpuknya senyawa produk akhir metabolis yang bersifat asam (Suprihanto, Notodarmojo, 2005).

Kondisi awal nilai kadar air diusahakan berkisar antara 85% dari *field capacity*, karena kadar air yang rendah akan membatasi pertumbuhan bakteri, karena menghalangi gerakan sel dan reaksi metabolisme, sedangkan kadar air yang berlebihan akan menyumbat pori-pori tanah sehingga aliran udara dalam tanah akan terhalang, sehingga hanya jamur saja yang dapat bertahan hidup (NFESC, 2004). Jika kadar air mencukupi maka akan terjadi reaksi hidrolisis oleh bakteri dari bahan pencemar yang mudah terlarut, jika oksigen mencukupi maka akan terjadi oksidasi polutan secara alami sehingga selain terjadi penurunan polutan juga akan terjadi peningkatan unsur hara (Widyati, Enny, 2004).

Berdasarkan grafik 4.21; 4.22; 4.23; 4.24; 4.25; 4.26; 4.27 dan 4.28 dapat dilihat bahwa, pada 7 hari pertama terjadi peningkatan terhadap persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena tertinggi dengan jumlah bakteri yang terbesar, dimana pada rentang waktu ini kondisi kadar air berada dalam jumlah tertinggi yaitu berkisar antara 62%-85%. Kondisi ini telah membuktikan pernyataan Enny Widyati di atas.

Pada hari selanjutnya, yaitu hari ke-7 sampai hari ke-28, diketahui bahwa tetap terjadi peningkatan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena walaupun nilai peningkatannya tidak terlalu signifikan dan pada jumlah bakteri terjadi penurunan. Untuk kadar air nilainya semakin berkurang seiring semakin lama waktu perlakuan. Berkurangnya kadar air di tanah disebabkan karena bakteri memerlukan air untuk melarutkan senyawa benzena yang masuk ke dalam selnya. Air merupakan bahan utama penyusun sel bakteri dan di dalam sel, air merupakan medium untuk berbagai reaksi metabolisme bakteri (Anas dalam Widyati, Enny, 2004). Disamping itu degradasi senyawa benzena dalam tanah

terjadi melalui reaksi kimia antara enzim bakteri dengan substrat. Dalam proses respirasi bakteri disamping energi dapat timbul panas karena kurang sempurnanya penggunaan energi, panas akan dihasilkan di sekitar *piling*, seringkali kenaikan suhu tanah mencapai 10-30°C (Dwidjoseputro, 1998). Faktor lain yang dapat menyebabkan semakin berkurangnya kadar air dalam tanah adalah karena proses evaporasi yang dapat bertambah selama proses degradasi (EPA, 2007).

Berdasarkan hasil analisa korelasi (tabel 4.17) menunjukkan bahwa persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri memiliki korelasi dengan variabel nilai pH dan kadar air. Arah hubungan menunjukkan hubungan negatif, berarti semakin tinggi tingkat persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena maka jumlah bakteri, nilai pH dan kadar air akan semakin rendah.

Analisa regresi untuk nilai pH (tabel 4.18) menunjukkan bahwa 90.4% penurunan nilai pH dipengaruhi oleh nilai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dan kadar air. Peningkatan 1% penurunan konsentrasi senyawa benzena akan diikuti dengan menurunnya nilai pH sebanyak 0.00124, berkurangnya jumlah bakteri sebanyak 1 koloni maka nilai pH akan menurun pula sebanyak 0.00107 dan berkurangnya 1% nilai kadar air akan diikuti dengan menurunnya nilai pH sebanyak 0.00302.

Analisa regresi untuk nilai kadar air (tabel 4.19) menunjukkan bahwa 96% penurunan nilai kadar air dipengaruhi oleh variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dan nilai pH. Peningkatan 1% penurunan konsentrasi senyawa benzena maka akan diikuti dengan menurunnya nilai kadar air sebanyak 0.236%, berkurangnya jumlah bakteri sebanyak 1 koloni maka nilai kadar air akan berkurang pula sebanyak 0.0241% dan bila nilai pH mengalami penurunan sebanyak 1 maka nilai kadar air akan semakin menurun sebanyak 9.24%.



#### 4.4 Hubungan Proses Biodegradasi Terhadap Nilai C: N: P

##### 4.4.1 Penurunan nilai C: N: P

*Biopiling* digunakan untuk mendegradasi polutan melalui aktifitas bakteri dalam tanah yang menggunakan polutan sebagai sumber karbon dan energi. Bakteri membutuhkan karbon untuk pertumbuhannya, disamping itu bakteri juga memerlukan nutrisi untuk pertumbuhan atau perbanyakannya. Bakteri harus mendapat nutrisi ini kurang lebih sama dengan komposisi selnya. Komposisi sel bakteri terdiri dari 4 elemen utama, yaitu: karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen. Elemen penting lainnya adalah fosfor dan kalsium (Notodarmojo, Suprihanto, 2005).

Pada umumnya, polutan dalam tanah telah menyediakan jumlah karbon yang mencukupi akan tetapi ketersediaan elemen penting lainnya seperti natrium, fosfor dan potasium mungkin tidak mencukupi (Harget, Mike dan Kearney, Theresa, 2002). Untuk pertumbuhan bakteri secara optimal, ratio C: N: P dalam tanah diusahakan berkisar 100: 10: 1 sampai 100: 10: 0.5 (Fahnestock, Von; Wickramanayake; Kratzke; Major, 1998). Karena konsentrasi nutrisi awal dalam tanah tidak mencukupi, maka untuk mencapai kisaran 100: 10: 1 dilakukan penambahan sejumlah nutrisi ke dalam tanah.

Hasil pengukuran nilai C: N: P selama proses biodegradasi dapat dilihat pada tabel 4.20 berikut:

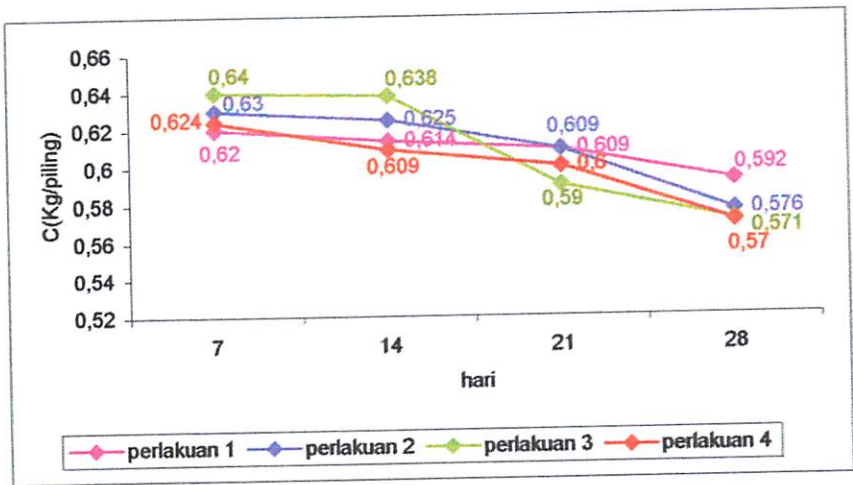
Tabel 4.20  
Nilai C: N: P

Perlakuan	Piling	C: N: P (Kg/Piling)	Hari			
			7	14	21	28
I	A	C	0.620	0.614	0.609	0.592
		N	0.0742	0.0732	0.0730	0.0703
		P	0.0153	0.0152	0.015	0.0145
	B	C	0.638	0.619	0.617	0.602
		N	0.0761	0.0740	0.0732	0.0719
		P	0.0158	0.0153	0.0153	0.0149
II	A	C	0.630	0.625	0.609	0.576
		N	0.0750	0.0747	0.073	0.069

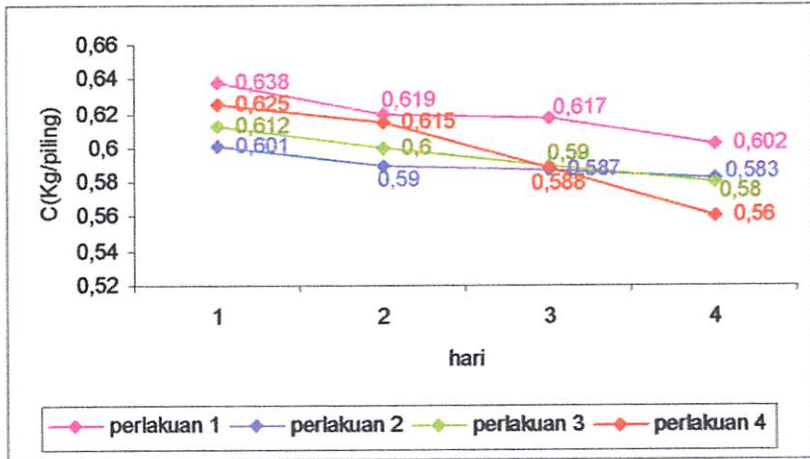
	B	P	0.0156	0.0155	0.0147	0.0142
		C	0.601	0.59	0.587	0.583
		N	0.0718	0.0716	0.0701	0.0699
		P	0.0149	0.0148	0.0145	0.0145
III	A	C	0.640	0.638	0.59	0.571
		N	0.0764	0.0762	0.0709	0.0682
		P	0.0158	0.0157	0.0147	0.0141
	B	C	0.612	0.60	0.59	0.580
		N	0.0731	0.0722	0.0715	0.0668
		P	0.0151	0.0149	0.0148	0.0143
IV	A	C	0.624	0.609	0.60	0.570
		N	0.0745	0.0729	0.0716	0.0670
		P	0.0154	0.0151	0.0148	0.0140
	B	C	0.625	0.615	0.588	0.560
		N	0.0746	0.0734	0.0702	0.0668
		P	0.0155	0.0152	0.0145	0.0138

Sumber: Hasil Penelitian

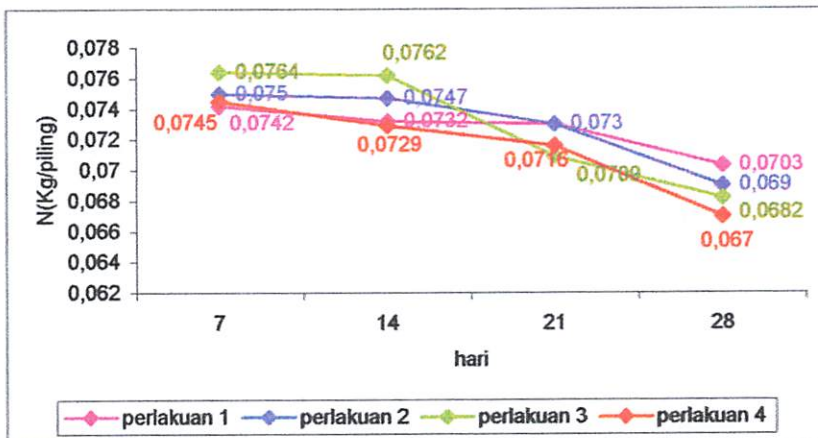
Untuk lebih memudahkan pembahasan mengenai nilai C: N: P pada *piling*, maka data tabel 4.20 di atas akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik nilai C: N: P masing-masing perlakuan dapat dilihat pada grafik 4.29; 4.30; 4.31; 4.32; 4.33 dan 4.34 berikut:



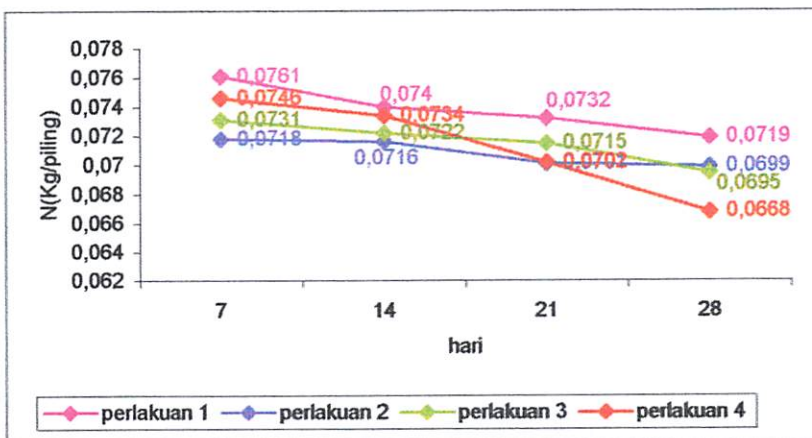
Gambar 4.29: Grafik Nilai C Pada *Piling A*



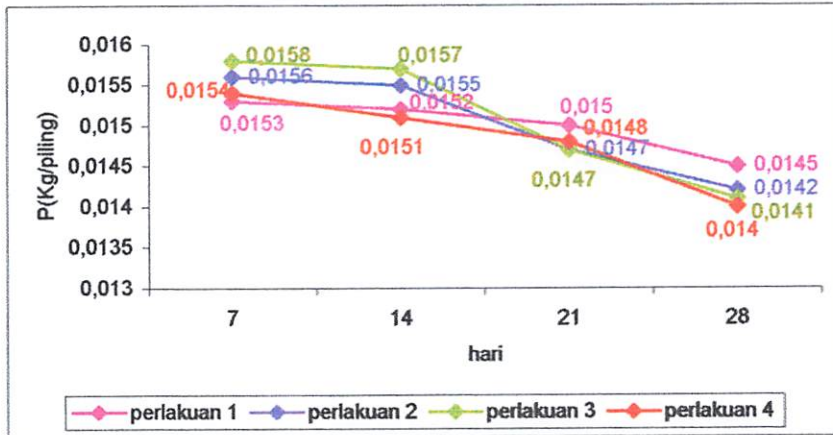
Gambar 4.30: Grafik Nilai C Pada Piling B



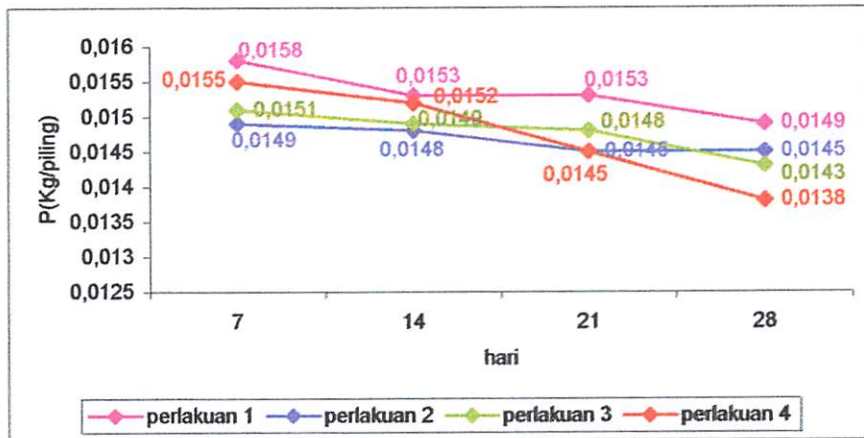
Gambar 4.31: Grafik Nilai N Pada Piling A



Gambar 4.32: Grafik Nilai N Pada Piling B



Gambar 4.33: Grafik Nilai P Pada *Piling A*



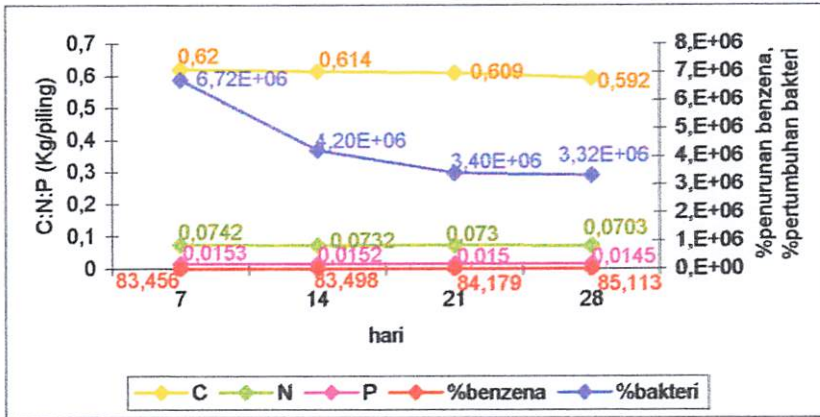
Gambar 4.34: Grafik Nilai P Pada *Piling B*

Berdasarkan gambar 4.29; 4.30; 4.31; 4.32; 4.33 dan 4.34 menunjukkan bahwa semakin lama proses biodegradasi berlangsung maka nilai C: N: P juga semakin berkurang. Penurunan nilai C: N: P tertinggi *piling A* terjadi pada perlakuan 4 yaitu sebesar: 0.57 Kg C/*piling*; 0.067 Kg N/*piling* dan 0.014 Kg P/*piling*. Penurunan nilai C: N: P terendah terjadi pada perlakuan 1 yaitu sebesar: 0.592 Kg C/*piling*; 0.0703 Kg N/*piling* dan 0.0145 Kg P/*piling*. Sedangkan *piling B* diketahui penurunan nilai C: N: P tertinggi terjadi pada perlakuan 4 yaitu sebesar: 0.56 Kg C/*piling*; 0.0668 Kg N/*piling* dan 0.0138 Kg P/*piling*. Untuk penurunan nilai C: N: P terendah terjadi pada perlakuan 1 yaitu sebesar: 0.602 Kg C/*piling*; 0.0719 Kg N/*piling* dan 0.0149 Kg P/*piling*.

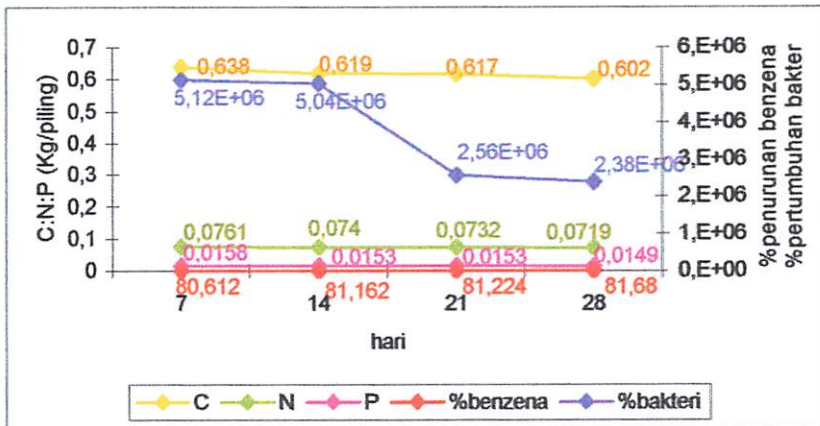


#### 4.4.2 Hubungan Antara % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena, Jumlah Bakteri Dengan Nilai C: N: P

Untuk memudahkan pembahasan mengenai hubungan pengaruh antara persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dengan penurunan nilai C: N: P, maka data tabel 4.20 akan ditampilkan dalam bentuk grafik-grafik sebagai berikut:



Gambar 4.35  
Grafik Nilai C: N: P Pada *Piling* A (Perlakuan I)

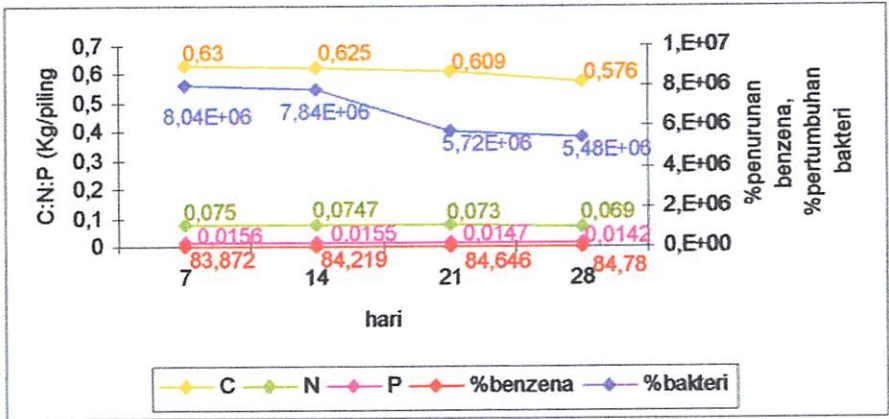


Gambar 4.36  
Grafik Nilai C: N: P Pada *Piling* B (Perlakuan I)

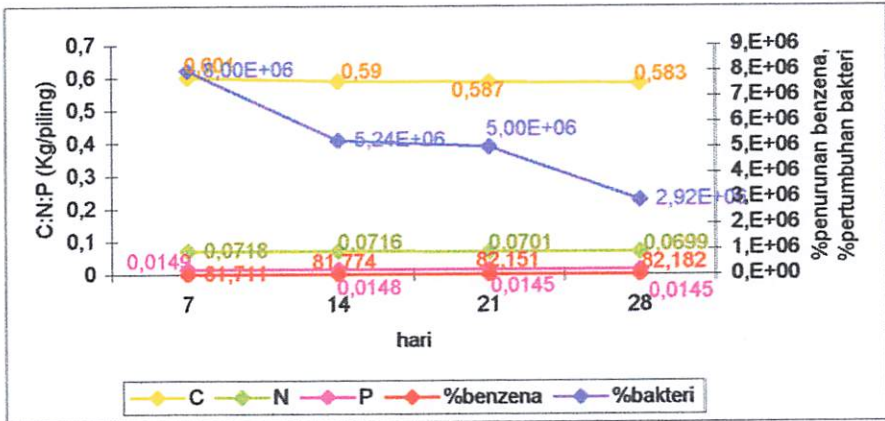
Berdasarkan gambar 4.35 diketahui bahwa *piling* A mempunyai kisaran nilai C = 0.592-0.62 Kg/*piling*; nilai N = 0.0703-0.0742 Kg/*piling* dan nilai P = 0.0145-0.0153 Kg/*piling*. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena paling optimal yaitu sebesar 83.456% terjadi pada jumlah bakteri =  $6,72 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.62: 0.0742: 0.0153. Selanjutnya proses biodegradasi

tetap berlanjut sampai nilai akhir persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena menjadi 85.113% terjadi pada jumlah bakteri =  $3,32 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.592: 0.0703: 0.0153.

Berdasarkan gambar 4.36 diketahui bahwa pada *piling* B persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena teroptimal yaitu sebesar 80.612% terjadi pada jumlah bakteri =  $5,12 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C: N: P = 0.636: 0.0761: 0.0158. Selanjutnya proses biodegradasi tetap berlangsung sampai nilai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi 81.68% terjadi pada jumlah bakteri =  $2,38 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.602: 0.0719: 0.0149.



Gambar 4.37  
Nilai C: N: P Pada *Piling* A (Perlakuan II)

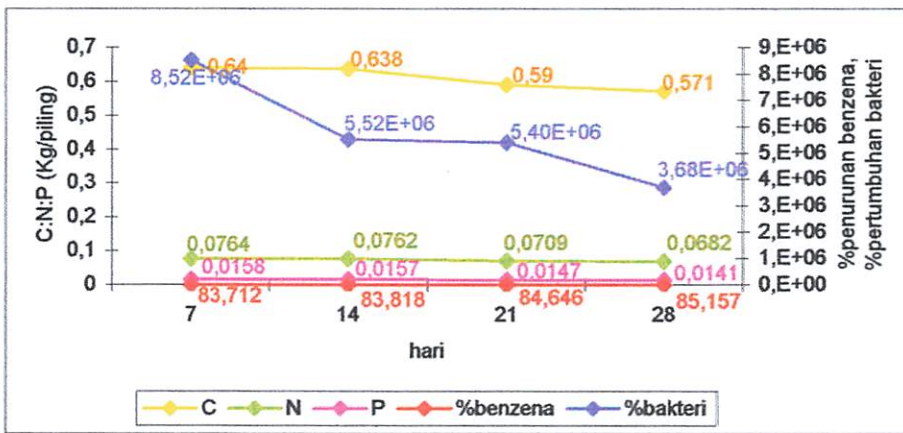


Gambar 4.38  
Nilai C: N: P Pada *Piling* B (Perlakuan II)

Berdasarkan gambar 4.37 diketahui bahwa *piling* A memiliki persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena teroptimal sebesar 83.872% terjadi pada

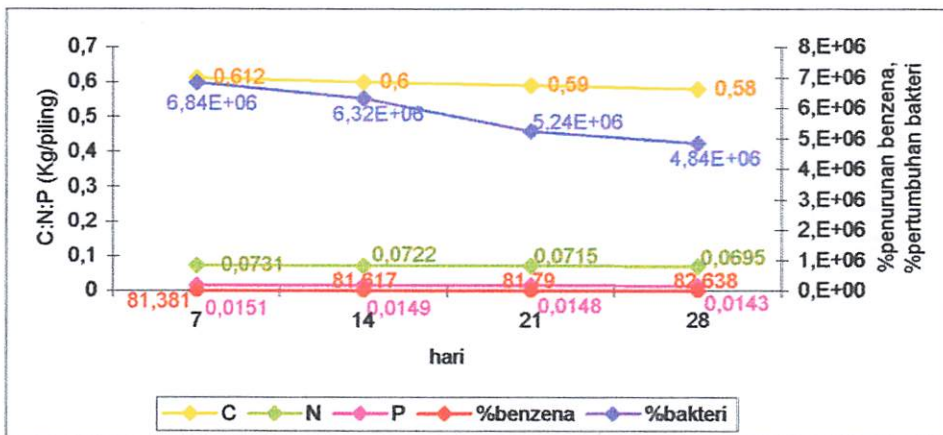
jumlah bakteri =  $8,04 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.63: 0.075: 0.0156. Selanjutnya proses biodegradasi tetap berlangsung sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir sebesar 84.78% terjadi pada jumlah bakteri =  $5,48 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.576: 0.069: 0.0142.

Berdasarkan gambar 4.38 diketahui bahwa *piling* B memiliki persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena teroptimal sebesar 81.711% terjadi pada jumlah bakteri =  $8,00 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.601: 0.0718: 0.0149. Selanjutnya proses biodegradasi tetap berlangsung sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi sebesar 82.182% terjadi pada jumlah bakteri =  $2,92 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.583: 0.0699: 0.0145.



Gambar 4.39

Grafik Nilai C: N: P Pada *Piling* A (Perlakuan III)



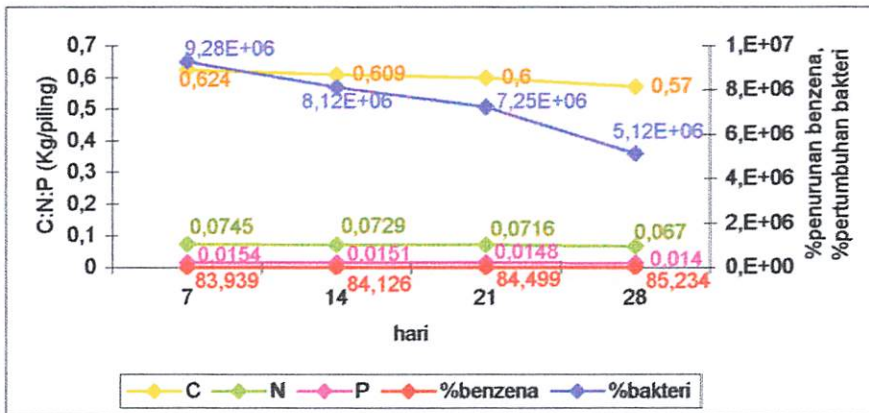
Gambar 4.40

Grafik Nilai C: N: P Pada *Piling* B (Perlakuan III)



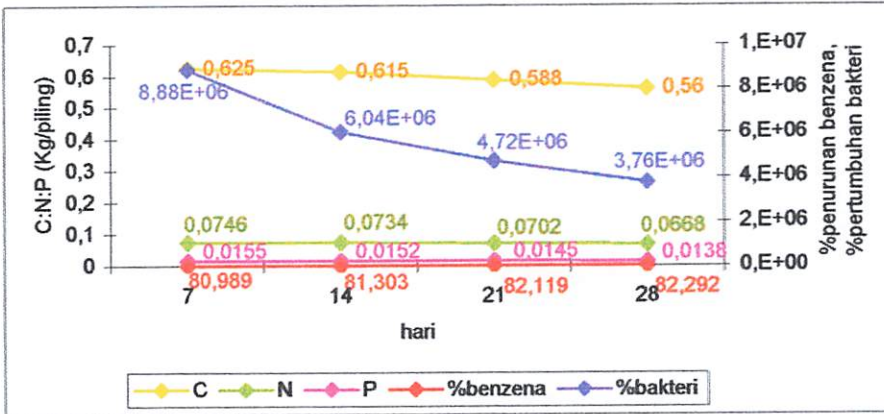
Berdasarkan gambar 4.39 diketahui bahwa *piling* A memiliki persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena teroptimal yaitu sebesar 83.712% terjadi pada jumlah bakteri =  $8,52 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.64: 0.0764: 0.0158. Selanjutnya proses biodegradasi tetap berlanjut sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi sebesar 85.157% terjadi pada jumlah bakteri =  $3,68 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.571: 0.0682: 0.0141.

Berdasarkan gambar 4.40 diketahui bahwa *piling* B memiliki persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena teroptimal yaitu sebesar 81.381% terjadi pada jumlah bakteri =  $6,84 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.612: 0.0731: 0.0151. Selanjutnya proses biodegradasi tetap berlanjut sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi sebesar 82.638% terjadi pada jumlah bakteri =  $4,84 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.58: 0.0695: 0.0143.



Gambar 4.41  
Grafik Nilai C: N: P Pada *Piling* A (Perlakuan IV)





Gambar 4.42  
Grafik Nilai C: N: P Pada *Piling* B (Perlakuan IV)

Berdasarkan gambar 4.41 diketahui bahwa *piling* A memiliki persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena teroptimal yaitu sebesar 83.939% terjadi pada jumlah bakteri =  $9,28 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.624: 0.0745: 0.0154. Selanjutnya proses biodegradasi tetap berlanjut sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi sebesar 85.234% terjadi pada jumlah bakteri =  $5,12 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.57: 0.067: 0.014.

Berdasarkan gambar 4.42 diketahui bahwa *piling* B memiliki persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena teroptimal yaitu sebesar 80.989% terjadi pada jumlah bakteri =  $8,88 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.625: 0.074: 0.0155. Selanjutnya proses biodegradasi tetap berlanjut sampai persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akhir menjadi sebesar 82.292% terjadi pada jumlah bakteri =  $3,76 \cdot 10^6$  koloni dan nilai C:N:P = 0.56: 0.0668: 0.0138.

#### 4.4.3 Analisa Data Statistik

##### 4.4.3.1 Analisa Korelasi

Untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linier antara dua variabel, maka kita analisa data dengan menggunakan analisa korelasi.

Hipotesa untuk kecukupan model yang diberikan adalah:

- $H_0$  = tidak ada korelasi antara 2 variabel
- $H_1$  = terdapat korelasi antara 2 variabel

Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Jika  $p\text{-value} < 0.05$ ,  $H_0$  ditolak
- Jika  $p\text{-value} > 0.05$ ,  $H_0$  diterima

Hasil analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel 4.21 berikut:

Tabel 4.21

Tabel Korelasi % Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena;  
Jumlah Bakteri; C: N: P

	%penurunan konsentrasi senyawa benzena	Jumlah bakteri	C	N
Jumlah bakteri	0,490 0,001			
C	-0,993 0,000	-0,482 0,002		
N	-0,993 0,000	-0,480 0,002	1,000 0,000	
P	-0,985 0,000	-0,457 0,003	0,997 0,000	0,998 0,000

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

Berdasarkan tabel 4.21 di atas dapat dijelaskan bahwa korelasi antara variabel jumlah bakteri dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena adalah sebesar 0.490, menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sedang (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah positif, berarti menurunnya nilai konsentrasi akhir senyawa benzena akan diikuti dengan berkurangnya jumlah bakteri.  $P\text{-value} = 0.001 < 0.05$ , maka korelasinya adalah sangat nyata. Korelasi antara variabel nilai C dan variabel nilai N terhadap variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena adalah sebesar  $-0.993$ , dan untuk variabel nilai P adalah sebesar  $-0.985$ , menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sangat rendah (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah negatif, berarti peningkatan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akan diikuti dengan semakin berkurangnya nilai C, N dan P.  $P\text{-value} = 0.000 < 0.05$ , maka korelasinya adalah sangat nyata.

Korelasi antara variabel nilai C dengan jumlah bakteri adalah sebesar  $-0.482$ ; dan variabel nilai N adalah sebesar  $-0.480$ ; dan variabel nilai P adalah sebesar  $-0.457$ , menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sangat rendah (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah negatif, berarti semakin tinggi jumlah bakteri maka nilai C, N dan P akan semakin berkurang. P-value untuk variabel nilai C dan N adalah  $= 0.002 < 0.05$ ; dan variabel nilai P adalah sebesar  $0.003 < 0.05$  maka korelasinya adalah sangat nyata.

Korelasi antara nilai N terhadap nilai C adalah sebesar  $1.000$ ; dan untuk nilai P adalah sebesar  $0.997$ , menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah positif, berarti jika nilai N dan P semakin berkurang maka nilai C juga akan berkurang. P-value  $= 0.000 < 0.05$ , hal ini berarti korelasi adalah sangat nyata. Korelasi antara nilai P dan nilai N adalah sebesar  $0.998$ , menurut koefisien korelasi *Guilford* hal ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat (Yarnest, 2003), arah hubungan menunjukkan arah positif, berarti jika nilai P semakin berkurang maka nilai N juga akan berkurang. P-value  $= 0.000 < 0.05$ , hal ini berarti korelasi adalah sangat nyata.

#### 4.4.3.2 Analisa Regresi

Hipotesa untuk model yang diberikan adalah:

- $H_0$  = Koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1$  = Koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Nilai F hitung  $>$  F tabel,  $H_0$  ditolak
- Nilai F hitung  $<$  F tabel,  $H_0$  diterima

Serta digunakan juga:

- Jika p-value  $<$   $0.05$ ,  $H_0$  ditolak
- Jika p-value  $>$   $0.05$ ,  $H_0$  diterima

Tabel 4.22

Analisa Regresi C versus %Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena;  
Jumlah Bakteri

The regression equation is					
$C = 3,58 - 0,0361 \text{ benzena} + 0,00032 \text{ bakteri}$					
S = 0,1445		R-Sq = 98,7%		R-Sq(adj) = 98,6%	
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	56,624	18,875	904,16	0,000
Residual Error	36	0,752	0,021		
Total	39	57,376			

Berdasarkan tabel 4.22 di atas, maka didapat keterangan bahwa nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) nilai C adalah sebesar 98.7%, artinya 98.7% variabel penurunan nilai C dapat dijelaskan oleh persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri. Untuk koefisien korelasi ( $r$ ) adalah sebesar 0.993, karena nilai mendekati 1 maka terdapat hubungan yang kuat antara nilai C dengan variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri.

Taksiran parameter dari persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena adalah sebesar  $-0.0361$ , artinya apabila persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena meningkat sebanyak 1% maka nilai C akan menurun sebanyak  $0.0361 \text{ Kg/piling}$ . Taksiran parameter dari jumlah bakteri adalah sebesar  $0.00032$ , artinya apabila variabel C ditambahkan sebanyak  $1 \text{ Kg/piling}$  maka jumlah bakteri akan meningkat sebanyak  $0.00032$  koloni. Nilai  $F_{0.05;3;36} = 1.697 < 904.16$  dan  $p\text{-value} = 0.000 < 0.005$ ; artinya  $H_0$  ditolak atau variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai C.

Tabel 4.23

**Analisa Regresi N versus %Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena;  
Jumlah Bakteri**

The regression equation is					
N = 0,360 - 0,00348 benzene + 0,000030 bakteri					
S = 0,01485		R-Sq = 98,5%		R-Sq(adj) = 98,4%	
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,52961	0,17654	800,92	0,000
Residual Error	36	0,00794	0,00022		
Total	39	0,53755			

Berdasarkan tabel 4.23 di atas, maka didapat keterangan bahwa nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) nilai N adalah sebesar 98.5%, artinya 98.5% variabel penurunan nilai N dapat dijelaskan oleh persentase penurunan konsentrasi senyawa benzene dan jumlah bakteri. Untuk koefisien korelasi ( $r$ ) adalah sebesar 0.992, karena nilai mendekati 1 maka terdapat hubungan yang kuat antara nilai N dengan variabel persentase penurunan konsentrasi benzene dan jumlah bakteri.

Taksiran parameter dari persentase penurunan konsentrasi senyawa benzene adalah sebesar  $-0.00348$ , artinya apabila persentase penurunan konsentrasi senyawa benzene meningkat sebanyak 1% maka nilai N akan menurun sebanyak  $0.00348$  Kg/piling. Taksiran parameter dari jumlah bakteri adalah sebesar  $0.000030$ , artinya apabila variabel N ditambahkan sebanyak 1 Kg/piling maka jumlah bakteri akan meningkat sebanyak  $0.000030$  koloni. Nilai  $F_{0.05;3;36} = 1.697 < 800.92$  dan  $p\text{-value} = 0.000 < 0.005$ ; artinya  $H_0$  ditolak atau variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzene dan jumlah bakteri memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai N.

Tabel 4.24

Analisa Regresi P versus %Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena;  
Jumlah Bakteri

The regression equation is					
P = 0,0350 -0,000235 benzena +0,000002 bakteri					
S = 0,001467		R-Sq = 97,1%		R-Sq(adj) = 96,8%	
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,00258163	0,00086054	399,72	0,000
Residual Error	36	0,00007750	0,00000215		
Total	39	0,00265914			

Berdasarkan tabel 4.24 di atas, maka didapat keterangan bahwa nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) nilai P adalah sebesar 97.1%, artinya 97.1% variabel penurunan nilai P dapat dijelaskan oleh persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri. Untuk koefisien korelasi ( $r$ ) adalah sebesar 0.985, karena nilai mendekati 1 maka terdapat hubungan yang kuat antara nilai P dengan variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri.

Taksiran parameter dari persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena adalah sebesar  $-0.000235$ , artinya apabila persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena meningkat sebanyak 1% maka nilai P akan menurun sebanyak  $0.000235$  Kg/piling. Taksiran parameter dari jumlah bakteri adalah sebesar  $0.000002$ , artinya apabila variabel P ditambahkan sebanyak 1 Kg/piling maka jumlah bakteri akan meningkat sebanyak  $0.000002$  koloni. Nilai  $F_{0.05;3;36} = 1.697 < 399.72$  dan  $p\text{-value} = 0.000 < 0.005$ ; artinya  $H_0$  ditolak atau variabel persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai P.

#### 4.4.3.3 Pembahasan Hubungan Proses Biodegradasi Terhadap Nilai C: N: P

Berdasarkan tabel 4.20, diketahui bahwa: pada *piling* A dan *piling* B penurunan nilai C: N: P tertinggi terjadi pada perlakuan 4, yaitu dengan variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri spesies *Bacillus Cereus*. Nilai C: N: P akhir untuk *piling* A adalah sebesar 0.57 Kg C/piling; 0.067 Kg N/piling; 0.014 Kg

*P/piling* dari konsentrasi awal 3.87 Kg *C/piling*; 0.39 Kg *N/piling*; 0.038 Kg *P/piling*. Sedangkan nilai C: N: P akhir untuk *piling* B adalah sebesar 0.56 Kg *C/piling*; 0.0668 Kg *N/piling*; 0.0138 Kg *P/piling* dari konsentrasi awal 3.87 Kg *C/piling*; 0.39 Kg *N/piling*; 0.038 Kg *P/piling*.

Dari hasil penelitian didapat hubungan bahwa penambahan nitrogen dan fosfor berhubungan dengan persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri. Tingkat penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah terbaik terjadi pada tingkat C: N: P yang lebih banyak, yaitu pada hari ke-7 pertama perlakuan. Kondisi penelitian di atas dapat terjadi karena pada lahan terdegradasi unsur-unsur hara berada dalam kondisi tidak tersedia akibat penyerapan atau tidak seimbang komposisinya. Pemanfaatan mikroba fungsional akan meningkatkan ketersediaan hara melalui aktifitas enzim yang mampu melepaskan hara yang terserap atau melalui modifikasi lingkungan menjadi lebih *favorable* (Widyati, Enny, 2004). Dan penambahan nutrisi yang dilakukan dapat membantu menciptakan permeabilitas dan menjaga kelembaban tanah untuk menstimulasi pertumbuhan mikroba (Chamberlain, Skip, 1999).

Bakteri membutuhkan karbon untuk mendukung pertumbuhannya. Tingginya konsentrasi senyawa benzena pada awal perlakuan pada dasarnya telah menyediakan sumber karbon dan energi yang cukup untuk proses metabolisme bakteri. Selain karbon, untuk menstimulasi pertumbuhannya bakteri juga membutuhkan nitrogen dan fosfor yang merupakan unsur penting bagi bakteri karena merupakan komponen selnya (Notodarmojo, Suprihanto, 2005). Meningkatnya bahan organik dalam tanah akibat adanya penambahan nutrisi yang dilakukan, selain akan memperbaiki struktur tanah, memantapkan agregat juga meningkatkan *water holding capacity* dan merupakan sumber makanan dan sumber energi bagi mikroba tanah. Hal ini akan mempercepat proses degradasi (Widyati, Enny, 2004).

Hasil analisa korelasi pada tabel 4.21, menjelaskan bahwa terdapat korelasi antara persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena, jumlah bakteri dengan nilai C:N:P. Arah hubungan menunjukkan arah negatif, berarti semakin tinggi tingkat persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena maka jumlah bakteri dan nilai C:N:P akan semakin berkurang.

Analisa regresi nilai C, menjelaskan bahwa 98.7% penurunan nilai C dipengaruhi oleh persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri. Peningkatan 1% penurunan konsentrasi senyawa benzena akan diikuti dengan berkurangnya nilai C sebanyak 0.0361 *Kg/piling* dan jika variabel C ditambahkan sebanyak 1 *Kg/piling* maka nilai jumlah bakteri akan meningkat sebanyak 0.00032 koloni.

Analisa regresi nilai N, menjelaskan bahwa 98.5% penurunan nilai N dipengaruhi oleh persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri. Peningkatan 1% penurunan konsentrasi senyawa benzena akan diikuti dengan berkurangnya nilai N sebanyak 0.00348 *Kg/piling* dan jika variabel N ditambahkan sebanyak 1 *Kg/piling* maka nilai jumlah bakteri akan meningkat sebanyak 0.000030 koloni.

Analisa regresi nilai P, menjelaskan bahwa 97.1% penurunan nilai P dipengaruhi oleh persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena dan jumlah bakteri. Peningkatan 1% penurunan konsentrasi senyawa benzena akan diikuti dengan berkurangnya nilai P sebanyak 0.000235 *Kg/piling* dan jika variabel P ditambahkan sebanyak 1 *Kg/piling* maka nilai jumlah bakteri akan meningkat sebanyak 0.000002 koloni.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Bakteri dominan adalah *Bacillus Cereus*.
2. Teknik *biopiling* menggunakan bakteri spesies *Bacillus Cereus* efektif dalam mendegradasi senyawa benzena, berdasarkan tingkat penurunan konsentrasi senyawa benzena yang mencapai 80% dengan waktu penelitian selama 28 hari.
3. Persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena selama 28 hari, pada variasi penambahan 0 koloni bakteri *Bacillus Cereus*, *piling* A sebesar 85.11% dan *piling* B sebesar 81.68%. Variasi penambahan  $1,84 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus* 2 = *piling* A sebesar 84.78% dan *piling* B sebesar 82.18%. Variasi penambahan  $1,60 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus* *piling* A sebesar 85.16% dan *piling* B sebesar 82.64%. Dan variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  koloni bakteri *Bacillus Cereus*, *piling* A sebesar 85.23% dan *piling* B sebesar 82.29%.
4. Jumlah bakteri terbaik terjadi pada 7 hari pertama perlakuan, yaitu sebesar  $9,28 \cdot 10^6$  koloni dengan variasi penambahan  $3,44 \cdot 10^6$  bakteri *Bacillus Cereus*.
5. Semakin lama proses biodegradasi berlangsung maka persentase penurunan konsentrasi senyawa benzena akan semakin meningkat, sedangkan jumlah bakteri, nilai kadar air, C: N: P dan pH semakin berkurang.

## **5.2 Saran**

- 1. Perlu dilakukan penelitian dengan melakukan penambahan variasi jumlah dan jenis bakteri, serta hari pengambilan sampel yang lebih lama.**
- 2. Perlu dilakukan penelitian dengan penambahan bahan penggembur (*bulking agent*) yang mengandung unsur hara untuk menciptakan kondisi lingkungan yang lebih kondusif untuk proses bioremediasi.**
- 3. Salah satu kendala dalam penelitian ini adalah kesulitan dalam pengukuran respirasi bakteri untuk memantau apakah bakteri dapat tumbuh dengan baik, pendekatan yang dilakukan adalah dengan menghitung jumlah bakteri per satuan volume dari sampel tanah.**

## DAFTAR PUSTAKA

- Artiyani, Anis (2000). *Uji Kemampuan Bakteri Perairan Tanjung Perak Dalam Mendegradasi Minyak Mentah*. Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITN: Malang
- Barnes, Kevin; Binger, Jono; Higgins, Doug (2006). *Bioremediation Microbes: Earths greatest Chemists*.
- Biowise (2000). Contaminated Land Remediation. <http://www.dti.gov.uk/biowise>. 18 agustus 2006.
- Chamberlain, Skip (1999). Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil. <http://www.ntis.gov/ordering.htm>. 06 januari 2006.
- Dajan, Anto (1991). *Pengantar Metode Statistik*. LP3ES: Jakarta.
- Dwidjoseputro (1998). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Djambatan: Jakarta.
- EPA (2005). *How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank*. <http://www.epa.gov/swerust1/pubs/tums.htm>. 18 Agustus 2006.
- Fahnestock, Von; Wickramanyake; Kratzke; Major W R (1998). *Biopile Design, Operation, and Maintenance Handbook For Treting Hydrocarbon-Contaminated Soil*. Battelle Press: Ohio.
- Harget, Mike dan Kearney, Teresa (2002). *Remedial Treatment Action Datasheet on Biopiles*. [www.claire.co.uk](http://www.claire.co.uk). 06 januari 2006.
- Koesomodinata, R P (1980) *Geologi Minyak Dan Gas Bumi*. ITB: Bandung.
- Naval Facilities Engineering Service Center (2005) *Biopile Remediation*. NFESC. 18 Agustus 2006.
- Notodarmojo, Suprihanto (2005). *Pencemaran Tanah Dan Air Tanah*. ITB: Bandung.
- Nugroho Hadi, Spto (2005). *Degradasi Minyak Bumi Via "Tangan" Mikroorganisme*. [www.chem-is-try.org](http://www.chem-is-try.org). 09 Juni 2005.
- Pelczar, Michael J., JR; Chan, E. C. S (1986). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. UI Press: Jakarta.
- Puji, Astuti Septin; Iriawan, Nur (2006). *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Andi: Yogyakarta
- Redactive@syncera.nl (2005) Groundwater Technology. 08 november 2006.

- Slamet, Agus dan Masduqi, Ali (2000). *Satuan Proses*. ITS: Surabaya.
- Spill Technology And Remediation Service (1996). *Biocell and Biopiles Design for Small-Scale Petroleum Contaminated Soil Project*. STARS. 18 Agustus 2006.
- Sudjana (1992). *Metoda Statistika*. TARSITO: Bandung.
- U.S. Food and Drug Administration (2006). *Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook Bacillus Cereus and Other Bacillus spp.* [mow@cfsan.fda.gov](mailto:mow@cfsan.fda.gov). 02 oktober 2007.
- Wibisono, Dono G dan Arsyad, Ibrahim (2003). *Bioremediasi Untuk Mengolah Tanah Tercemar Minyak Mentah di Lapangan Tarakan, Kalimantan Timur* (tidak dipublikasikan).
- Widyanto, I Putu (2006). *Penurunan COD, TSS, & Warna Pada Limbah Cair Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Anaerobic Baffled Reaktor*. Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITN: Malang
- Widyati, Enny (2004). *Tinjauan Tentang Peranan Mikroba Tanah Dalam Remediasi Lahan Terdegradasi*, IPB: Bogor.
- Wikipedia (2006). *Bacillus Cereus*. Wikipedia The Free Eyclopedia. 02 oktober 2007.
- Yarnest (2003). *Aplikasi Statistik Dengan Menggunakan SPSS*. Dioma: Malang
- Yitnosumarto, Suntoyo (1993). *Percobaan Perancangan, Analisis, dan Interpretasinya*. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.

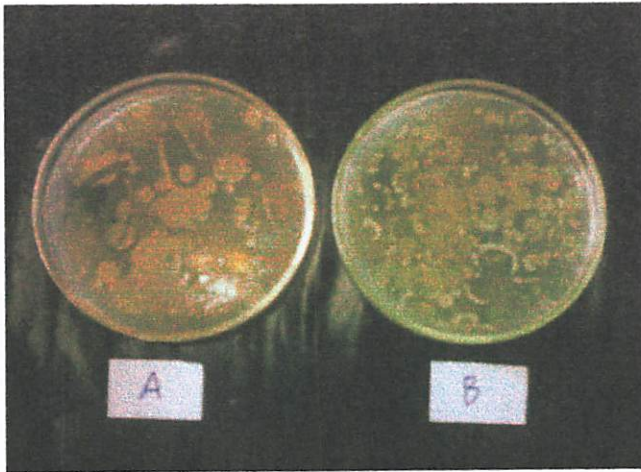
# **LAMPIRAN I**

- **DOKUMENTASI**

**GAMBAR *BIOPILING***



## INOKULASI BAKTERI INDIGEN



## ISOLASI BAKTERI

### Tahap 1

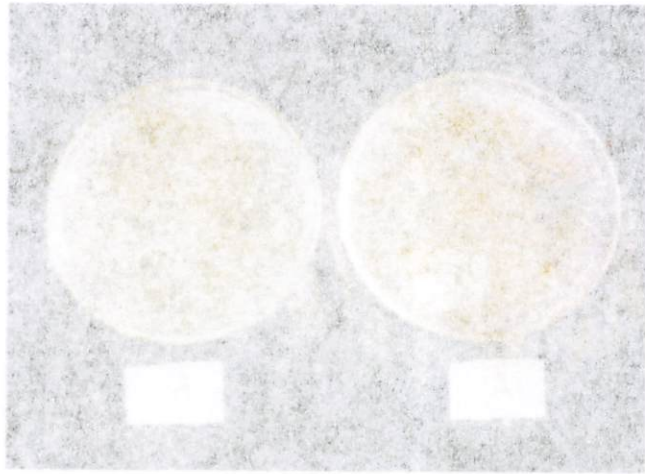


### Tahap 2





INOKULASI BAKTERI INDIKEX

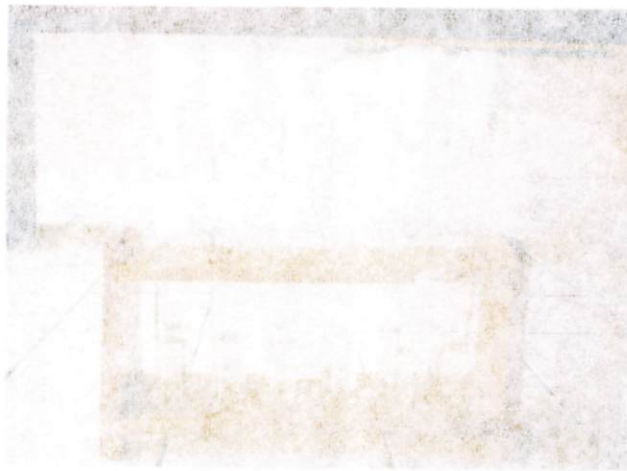


ISOLASI BAKTERI

Tahap 1

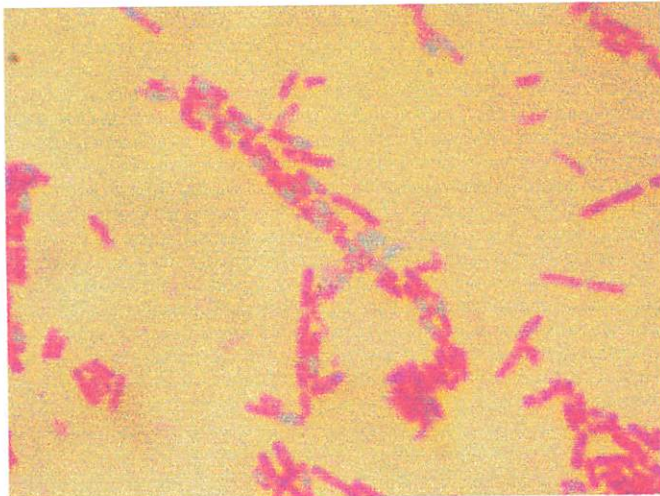
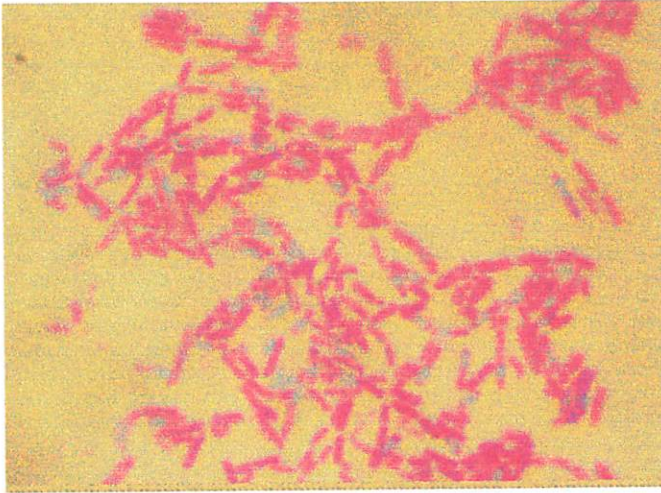


Tahap 2





**BAKTERI SPESIES *BACILLUS CEREUS***

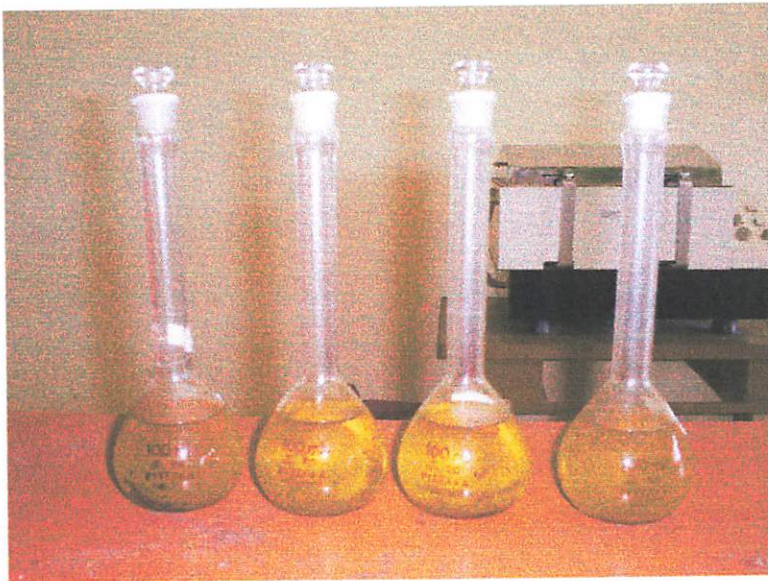


## EKTRAKSI SENYAWA BENZENA

*Piling A*



*Piling B*



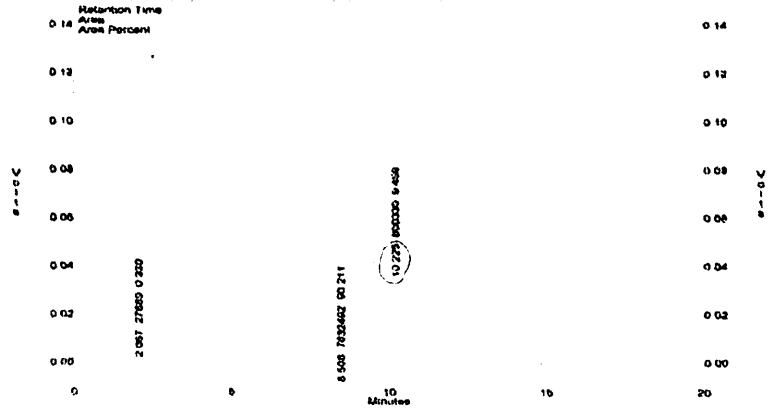


## **LAMPIRAN II**

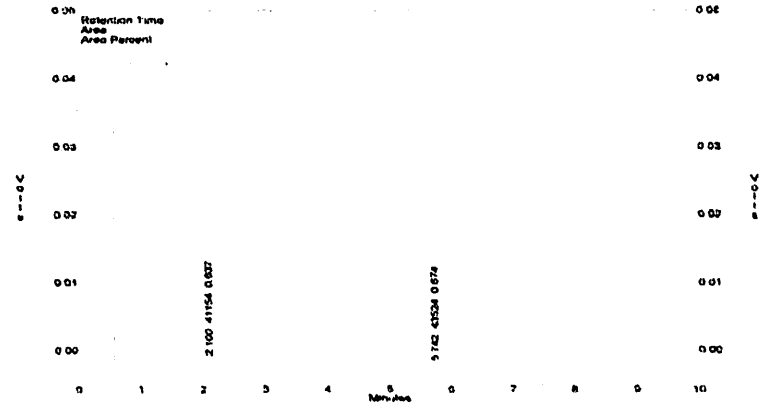
### **HASIL UJI LABORATORIUM**

- **GAS CHROMATOGRAPHY**
- **PERHITUNGAN JUMLAH BAKTERI**
  - **ANALISA KESUBURAN TANAH**
    - **TEST VOLUMETRIK**
      - **PH**

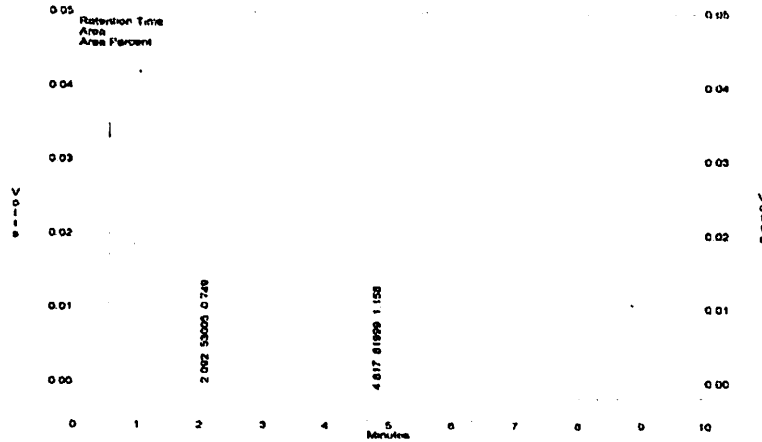
## HASIL Tes Gas Chromatography Standart GC Senyawa Benzena



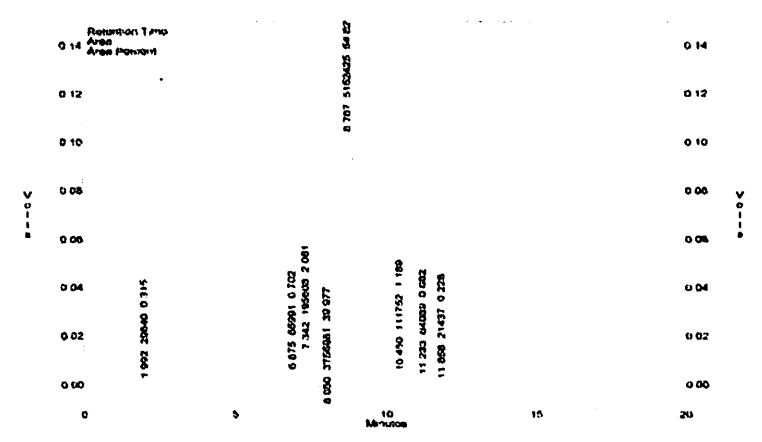
## Piling B awal



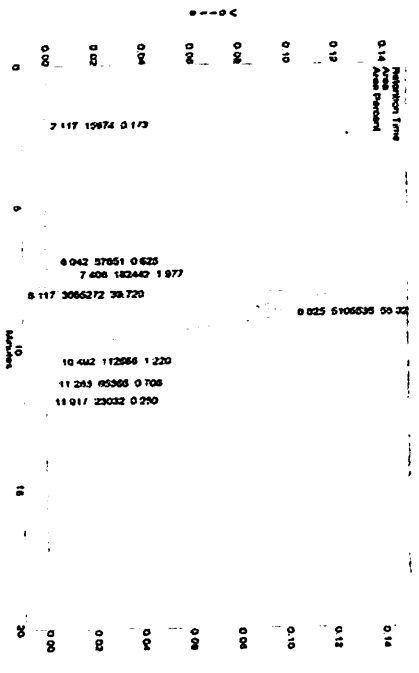
## Piling A awal



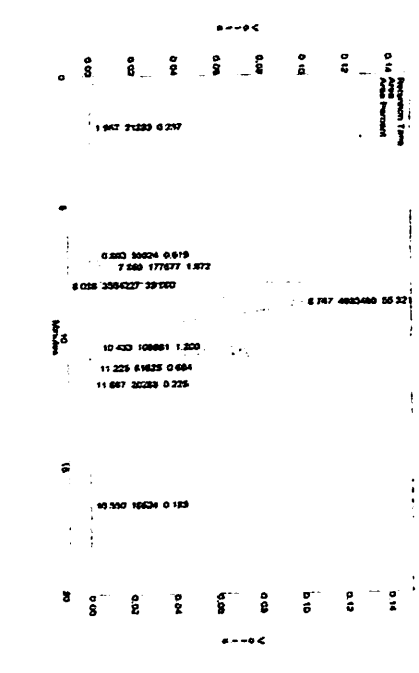
## Perlakuan I (Piling A) Hari ke-7



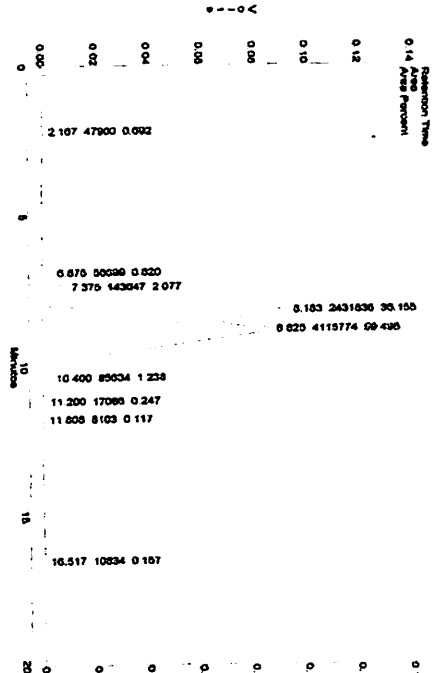
### Hari ke-14



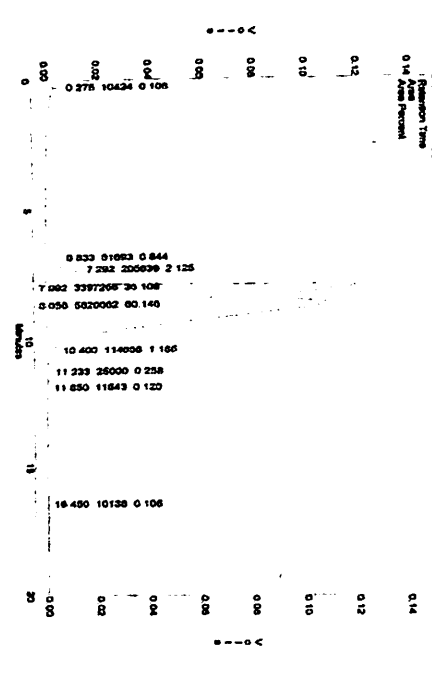
### Hari ke-28



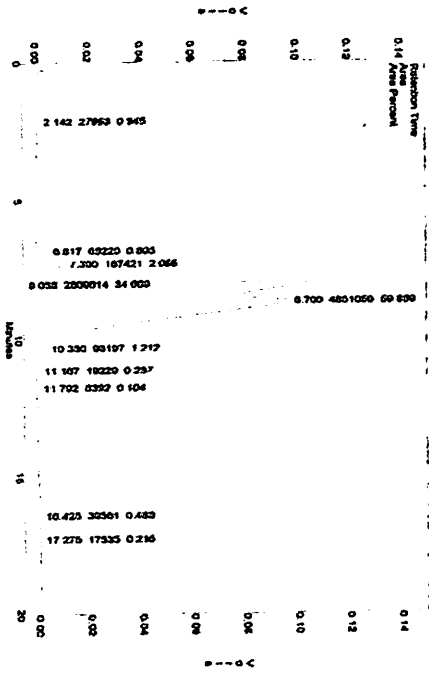
### Hari ke-21



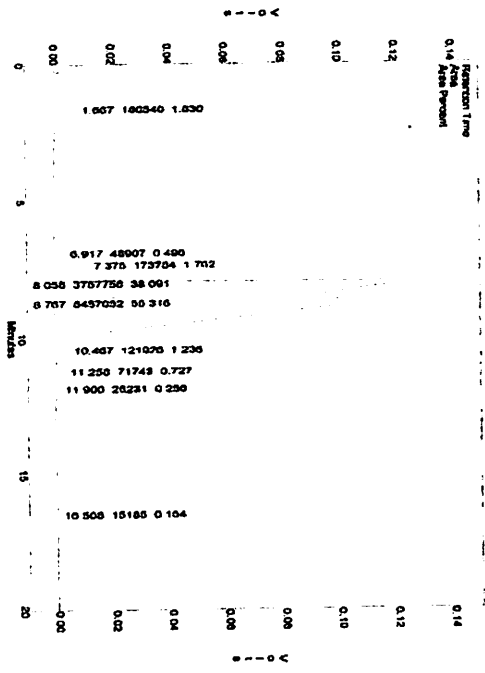
### Perlakuan II (piling A) Hari ke-7



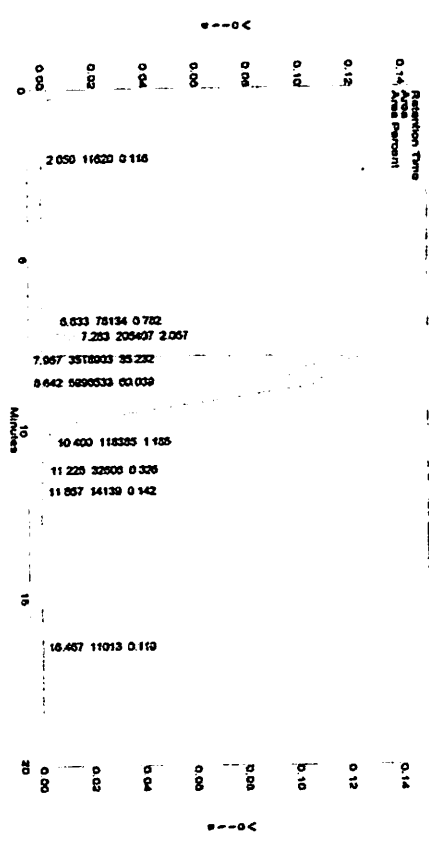
### Hari ke-14



### Hari ke-21

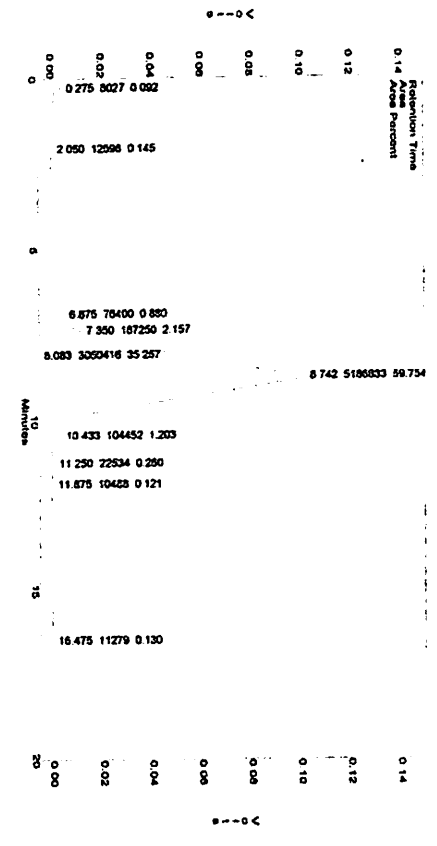


### Hari ke-28

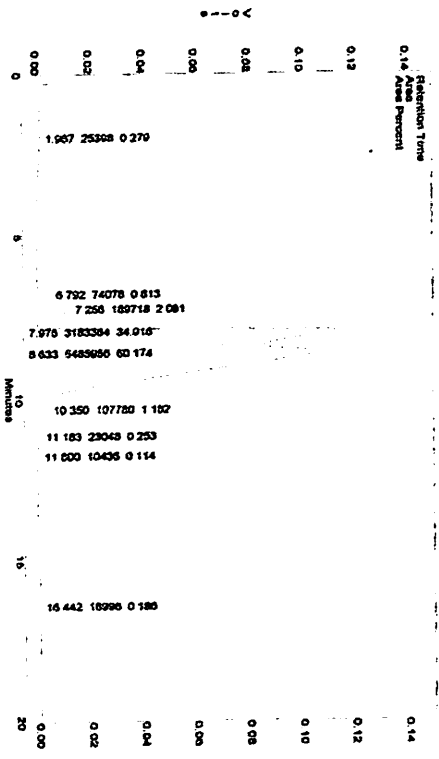


### Perlakuan III (piling A)

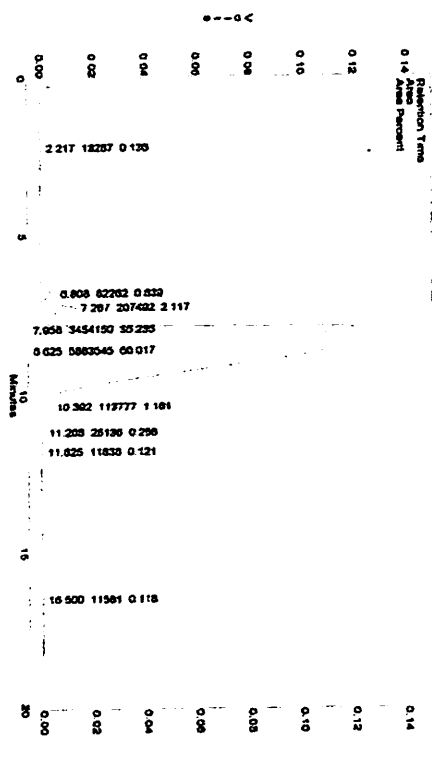
### Hari ke-7



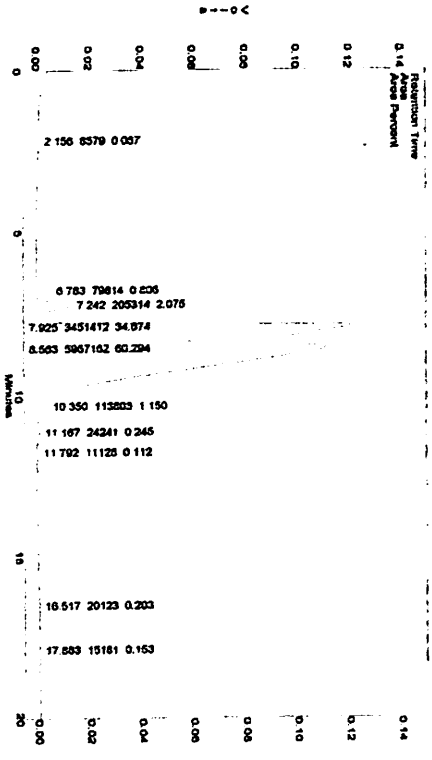
### Hari ke-14



### Hari ke-28

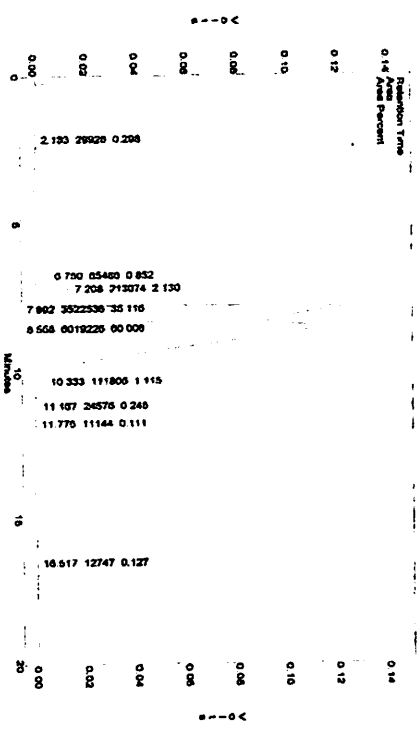


### Hari ke-21



### Perlakuan IV (piling A)

### Hari ke-7





### Hari ke-14

Reduction Time 0.14 Area Percent	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00
2.150 17824 0.179							
6.783 83879 0.841							
7.233 211102 2.117							
7.925 3473481 34.827							
8.592 6025231 60.412							
10.358 113664 1.140							
11.183 25041 0.251							
11.808 11845 0.119							
16.467 11483 0.115							
0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14
2.083 27052 0.254							
6.717 81793 0.600							
7.175 210272 2.058							
7.850 3519391 34.409							
8.517 6088277 60.505							
10.300 113115 1.106							
11.108 22028 0.215							
11.725 9206 0.090							
16.450 117733 1.151							
17.767 41305 0.404							
0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14

### Hari ke-28

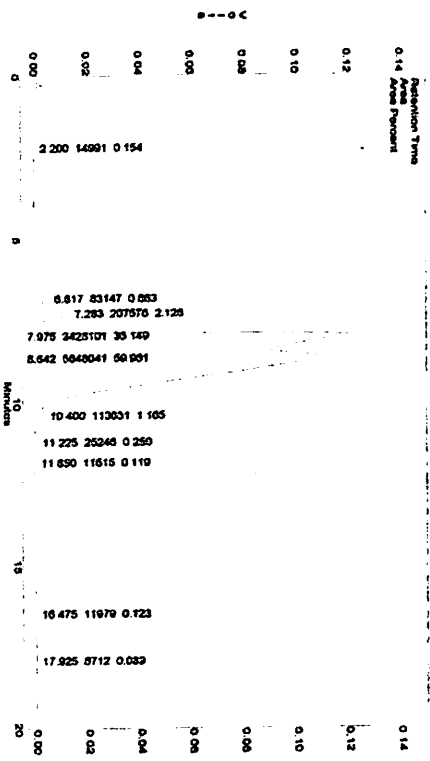
### Hari ke-21

Reduction Time 0.14 Area Percent	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00
1.817 82968 0.924							
5.542 14565 0.182							
6.775 60153 0.670							
7.242 182006 2.027							
7.950 3545893 39.482							
10.342 100330 1.117							
11.142 60388 0.672							
11.787 19561 0.218							
15.442 29607 0.330							
0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14
2.175 12691 0.161							
6.882 66774 0.848							
7.383 106506 2.114							
8.150 2785189 35.10							
8.600 4727537 40.015							
10.425 97305 1.235							
11.242 20255 0.257							
11.858 9280 0.118							
16.608 11752 0.149							
0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14

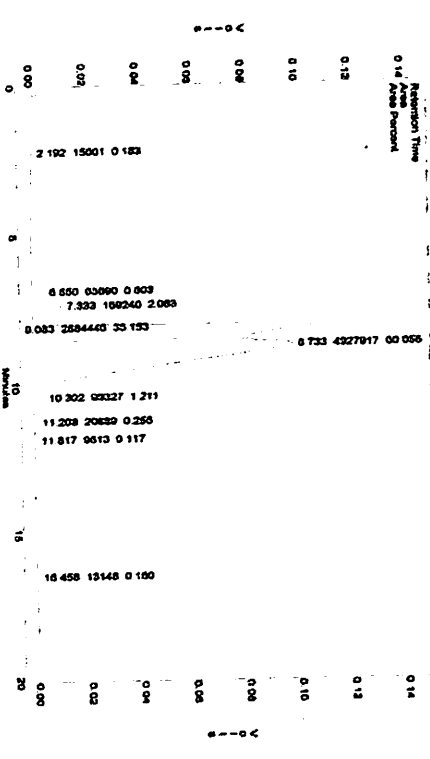
### Perlakuan I (piling B)

### Hari ke-7

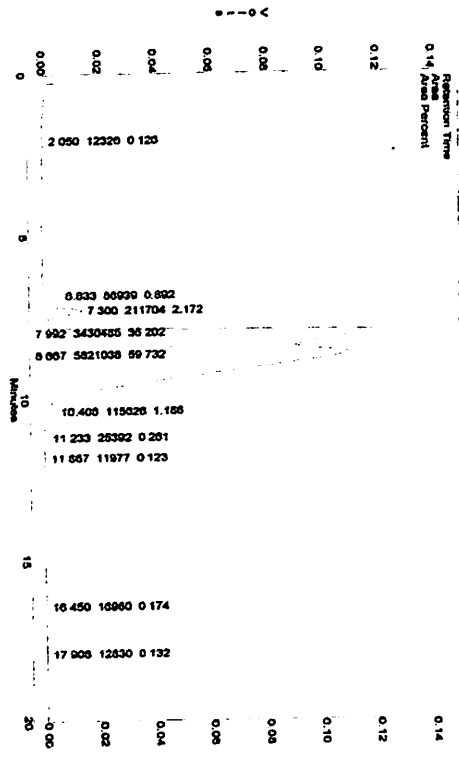
### Hari ke-14



### Hari ke-28

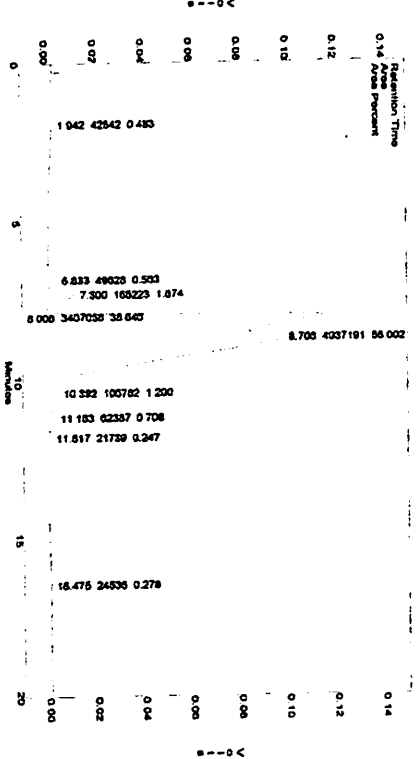


### Hari ke-21

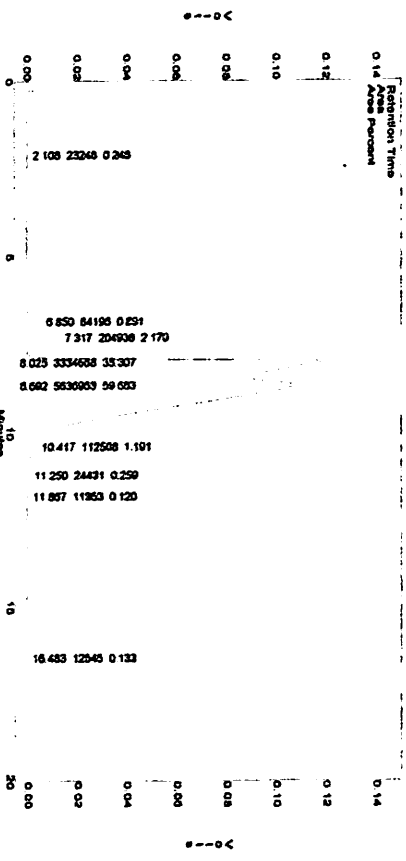
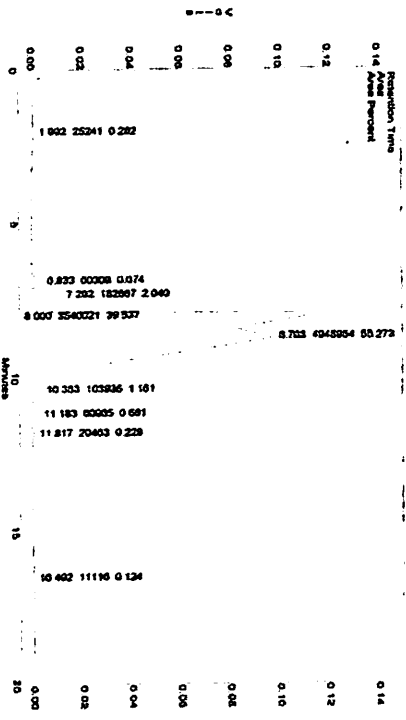


### Perlakuan II (piling B)

### Hari ke-7

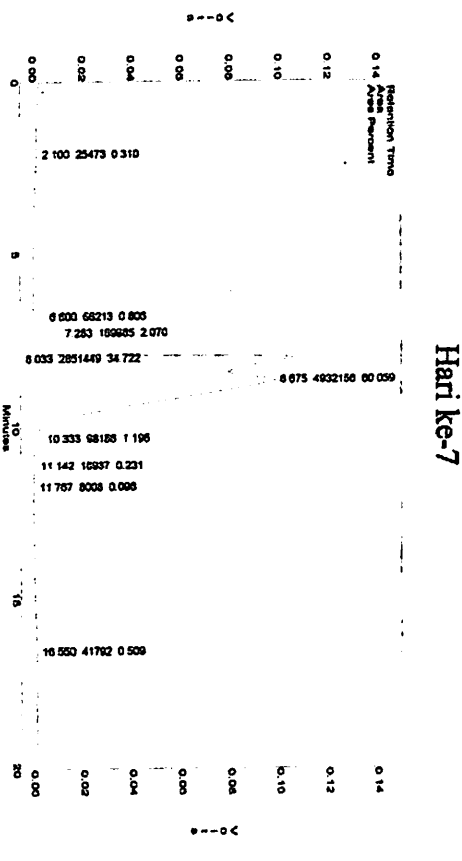
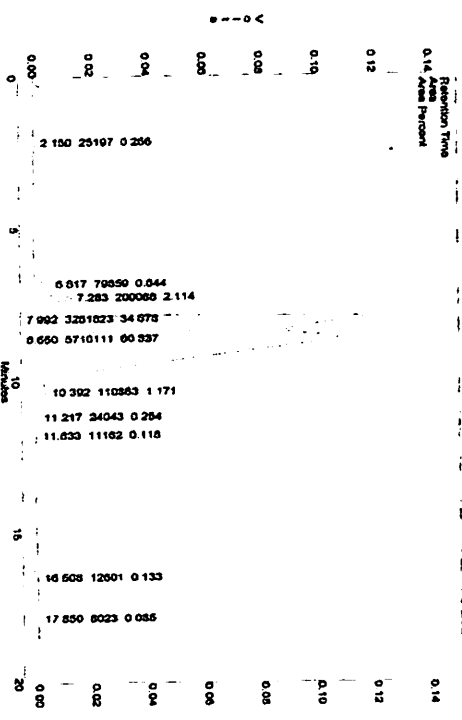


### Hari Ke-14



### Hari Ke-28

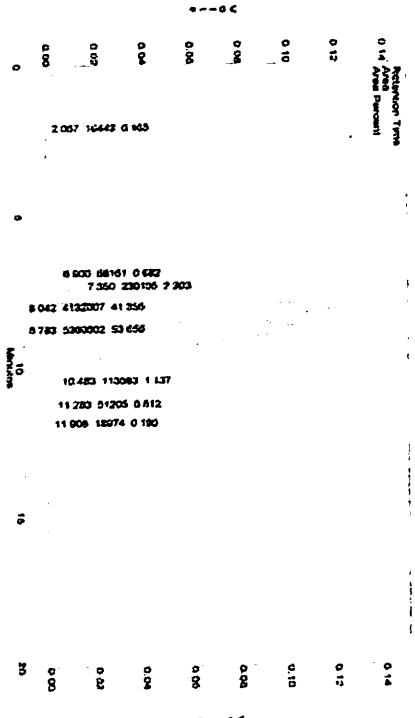
### Hari Ke-21



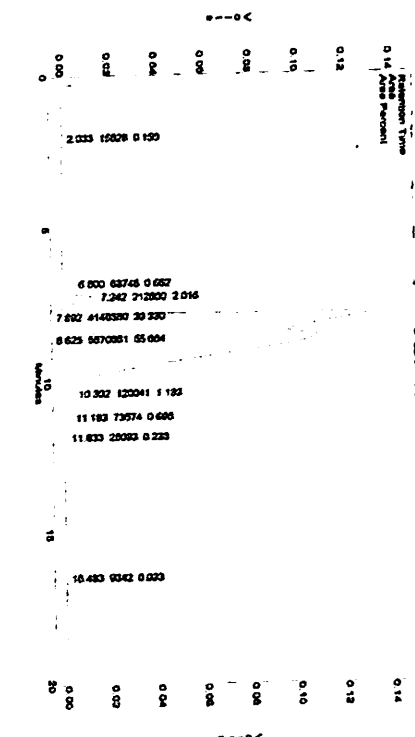
### Pelakuan III (piling B)

### Hari Ke-7

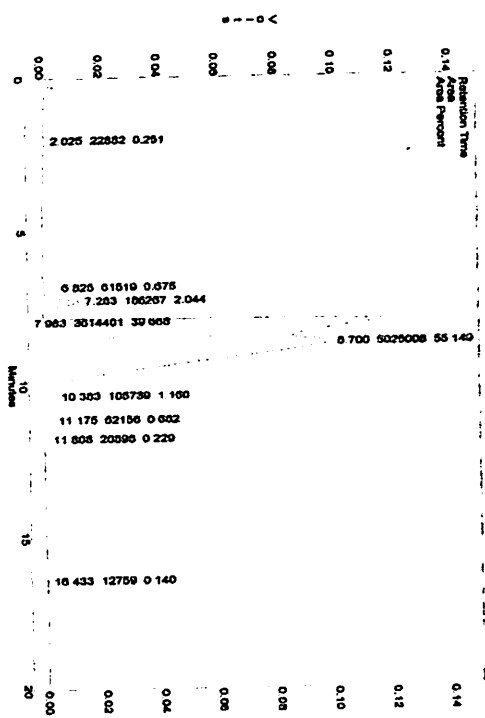
### Hari ke-14



### Hari ke-28

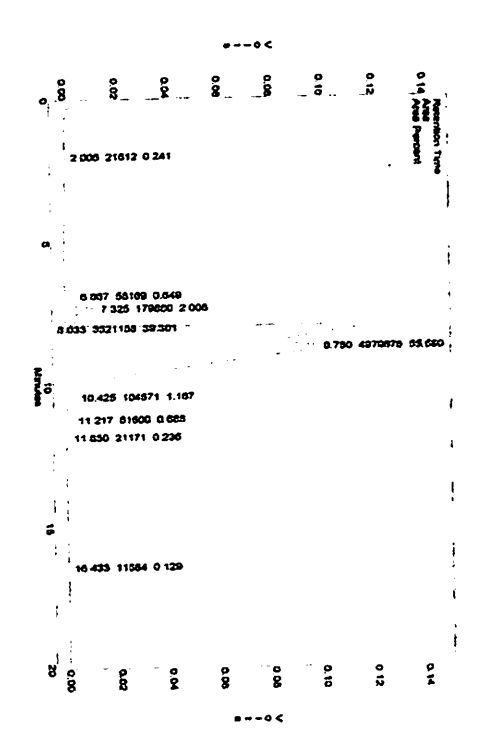


### Hari ke-21



### Perlakuan IV (piling B)

### Hari ke-7



### Hari ke-14

Retention Time	Area Percent
0.12	1.375 7932 0.088
0.10	2.050 38259 0.404
0.08	6.733 70458 0.765
0.06	7.208 183034 2.039
0.04	7.025 3108243 34.587
0.02	8.583 5359096 59.066
0.00	10.293 101933 1.135
0.00	11.032 19114 0.213
0.00	11.708 7811 0.087

Retention Time	Area Percent
0.14	16.508 60856 0.742
0.12	17.108 10449 0.116
0.10	17.798 9583 0.107
0.08	0.925 55249 0.598
0.06	7.393 218623 7.170
0.04	8.100 3047106 42.731
0.02	10.500 104200 1.128
0.00	11.308 33058 0.358
0.00	11.933 14113 0.183

### Hari ke-28

Retention Time	Area Percent
0.14	0.850 4839531 52.392
0.12	16.567 10513 0.119
0.10	0.000
0.08	0.000
0.06	0.000
0.04	0.000
0.02	0.000
0.00	0.000

### Hari ke-21

Retention Time	Area Percent
0.14	8.900 72307 0.702
0.12	7.342 262303 2.544
0.10	8.033 4451171 43.168
0.08	8.000 5323465 51.829
0.06	10.508 111732 1.084
0.04	11.329 35889 0.348
0.02	11.933 15082 0.146
0.00	18.492 10770 0.104
0.00	0.000

Retention Time	Area Percent
0.14	2.100 28425 0.276
0.12	0.000
0.10	0.000
0.08	0.000
0.06	0.000
0.04	0.000
0.02	0.000
0.00	0.000

## HASIL PERHITUNGAN JUMLAH BAKTERI

- Jumlah bakteri awal, yaitu sebesar:  $268.10^4$  koloni/ml
- Penentuan bakteri uji:

### Jumlah Bakteri Hasil Isolasi II

Sampel	Jumlah Koloni ( $10^6$ )			Rata-rata ( $10^6$ )
	Ulangan			
	1	2	3	
1	0,56	2,24	1,52	1,44
2	3,80	0,84	0,88	1,84
3	1,32	2,04	0,24	1,20
4	1,08	1,84	1,04	1,32
5	1,12	1,72	1,96	1,60

*Sumber: Hasil Penelitian*

- Jumlah bakteri selama proses biodegradasi:

### Data Jumlah Bakteri

Perlakuan	Piling	Jumlah Bakteri ( $10^6$ )			
		Hari ke-			
		7	14	21	28
I	A	$6,72.10^6$	$4,20.10^6$	$3,40.10^6$	$3,32.10^6$
	B	$5,12.10^6$	$5,04.10^6$	$2,56.10^6$	$2,38.10^6$
II	A	$8,04.10^6$	$7,84.10^6$	$5,72.10^6$	$5,48.10^6$
	B	$8,00.10^6$	$5,24.10^6$	$5,00.10^6$	$2,92.10^6$
III	A	$8,52.10^6$	$5,52.10^6$	$5,40.10^6$	$3,68.10^6$
	B	$6,84.10^6$	$6,32.10^6$	$5,24.10^6$	$4,84.10^6$
IV	A	$9,28.10^6$	$8,12.10^6$	$7,25.10^6$	$5,12.10^6$
	B	$8,88.10^6$	$6,04.10^6$	$4,72.10^6$	$3,76.10^6$

*Sumber: Hasil penelitian*



		GNB 24E																										
		GNB 12A / 12E											GNB 12B															
Result / Resultado / Ergebnis / Resultado / Resultat / Resultat / Amendakaya		Oxidase	Motility	Nitrate	Lysine	Ornithine	H <sub>2</sub> S	Glucose	Mannitol	Xylose	ONPG	Indole	Urease	V-P	Citrate	TDA	Gelatin	Malonate	Inositol	Sorbitol	Rhamnose	Sucrose	Lactose	Arabinose	Adonitol	Raffinose	Salicin	Arginine
		+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1
Sum / Suma / Summe / Somme / Somma / Sum / Summa / Suma / Mijapasa		0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Identificación / Identificación /  
Identifikation / Identifikation /  
Identificazione / Identificazione /  
Identifikasi / Identifikasi /  
Tuvuvavava

*Bacillus cereus*

P. Gram : *Bacillus* G+ ⊕  
Spore : ⊕  
Katalase : ⊕

		GNB 24E																										
		GNB 12A / 12E											GNB 12B															
Result / Resultado / Ergebnis / Resultado / Resultat / Resultat / Amendakaya		Oxidase	Motility	Nitrate	Lysine	Ornithine	H <sub>2</sub> S	Glucose	Mannitol	Xylose	ONPG	Indole	Urease	V-P	Citrate	TDA	Gelatin	Malonate	Inositol	Sorbitol	Rhamnose	Sucrose	Lactose	Arabinose	Adonitol	Raffinose	Salicin	Arginine
		+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1
Sum / Suma / Summe / Somme / Somma / Sum / Summa / Suma / Mijapasa		1	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Identificación / Identificación /  
Identifikation / Identifikation /  
Identificazione / Identificazione /  
Identifikasi / Identifikasi /  
Tuvuvavava

*Bacillus cereus*

P. Gram : *Bacillus* G+ ⊕  
Spore : ⊕  
Katalase : ⊕



## ANALISIS CONTOH TANAH

Terhadap kering oven 105°C

Kode	C	N. total	P.Brays
	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>
A1	52,645.71	0.042	5.699

Terhadap kering oven 105°C

Kode	C				N. total				P.Brays			
	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	%	%	%	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
A1	8,435.37	8,353.74	8,285.71	8,054.42	10.095	9.959	9.932	9.565	208.163	206.803	204.082	197.278
A2	8,680.27	8,421.77	8,394.56	8,190.48	10.204	10.163	9.932	9.388	212.245	210.884	200.0	193.197
A3	8,571.43	8,503.40	8,285.71	7,836.73	10.395	10.367	9.646	9.279	214.966	213.605	200.0	191.837
A4	8,176.87	8,027.21	7,986.39	7,931.97	10.136	9.918	9.741	9.116	209.524	205.442	201.361	190.476
B1	8,707.48	8,680.27	8,027.21	7,768.71	10.354	10.068	9.959	9.782	214.970	208.163	208.163	202.721
B2	8,326.53	8,163.27	8,027.21	7,789.16	9.769	9.741	9.537	9.510	202.721	201.361	197.279	197.279
B3	8,489.80	8,285.71	8,163.27	7,755.10	9.946	9.823	9.728	9.088	205.442	202.721	201.361	194.538
B4	8,503.40	8,367.35	8,000	7,619.05	10.150	9.986	9.551	9.088	210.884	206.803	197.279	187.755

### HASIL ANALISIS TEST VOLUMETRIK

Kode	% Kadar Air
A1	11.86 %
	dari 30% <i>field capacity</i>

Kode	% Kadar Air			
	7	14	21	28
A1	63	59	57	53
A2	63	58	53	48
A3	60	54	51	47
A4	68	57	48	44
B1	69	59	55	51
B2	64	55	51	49
B3	64	56	50	48
B4	60	55	50	50

### HASIL ANALISIS pH

Perlakuan	Piring	Hari				
		0	7	14	21	28
I	A	6.28	6.21	6.08	6.06	5.89
	B	6.25	6.18	6.07	6.04	5.87
II	A	6.28	6.14	6.97	5.87	5.84
	B	6.25	6.09	5.93	5.88	5.85
III	A	6.28	6.11	5.93	5.85	5.81
	B	6.25	6.12	5.95	5.85	5.82
IV	A	6.28	6.11	5.95	5.86	5.79
	B	6.25	6.09	5.96	5.87	5.77

**LAMPIRAN III**  
**HASIL ANALISA STATISTIK**

**% Penurunan Konsentrasi Senyawa Benzena Dan % Pertumbuhan Bakteri**

**a. Factorial Design**

General Factorial Design

Factors: 3            Factor Levels: 8; 4; 4  
 Runs: 128            Replicates: 1

**b. General Linear Model: % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri versus titik pengambilan sampel; penambahan bakteri; hari pengambilan sampel**

Factor	Type	Levels	Values
titik	fixed	8	1 2 3 4 5 6 7 8
penambahan	fixed	4	1 2 3 4
hari	fixed	4	1 2 3 4

**c. Analysis of Variance for % penurunan konsentrasi senyawa benzena, using Adjusted SS for Tests**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
titik	7	0,728	0,728	0,104	1,26	0,278
penambahan	3	219,412	219,412	73,137	883,12	0,000
hari	3	25,482	25,482	8,494	102,56	0,000
Error	114	9,441	9,441	0,083		
Total	127	255,064				

**d. Analysis of Variance for % pertumbuhan bakteri, using Adjusted SS for Tests**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
titik	7	8777,1	8777,1	1253,9	3,30	0,003
penambahan	3	7815,9	7815,9	2605,3	6,86	0,000
hari	3	78429,7	78429,7	26143,2	68,81	0,000
Error	114	43314,6	43314,6	380,0		
Total	127	138337,3				

e. Correlations: titik pengambilan sampel; penambahan bakteri; hari pengambilan sampel; % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri

	titik	penambahan	hari	benzena
penambahan	0,000 1,000			
hari	0,000 1,000	0,000 1,000		
benzena	0,012 0,896	0,363 0,000	0,311 0,000	
bakteri	-0,055 0,038	0,233 0,008	-0,685 0,000	-0,075 0,397

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

f. Regression Analysis: % penurunan konsentrasi senyawa benzena versus titik pengambilan sampel; penambahan bakteri; hari pengambilan sampel

The regression equation is

$$\text{benzena} = 83,1 - 0,0072 \text{ titik} + 0,458 \text{ penambahan} + 0,393 \text{ hari}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	83,0985	0,4292	193,61	0,000	
titik	0,00718	0,04860	0,15	0,883	1,0
penambahan	-0,45770	0,09960	-4,60	0,000	1,0
hari	0,39295	0,09960	3,95	0,000	1,0

S = 1,260

R-Sq = 22,8%

R-Sq(adj) = 21,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	58,259	19,420	12,24	0,000
Residual Error	124	196,805	1,587		
Total	127	255,064			

Source	DF	Seq SS
titik	1	0,035
penambahan	1	33,518
hari	1	24,706

**g. Regression Analysis: % pertumbuhan bakteri versus titik pengambilan sampel; penambahan bakteri; hari pengambilan sampel**

The regression equation is  
 bakteri = 112 - 0,789 titik + 6,87 penambahan - 20,2 hari

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VI
Constant	112,271	7,823	14,35	0,000	
titik	-0,7886	0,8858	-0,89	0,375	1,0
penambahan	-6,866	1,815	-3,78	0,000	1,0
hari	-20,155	1,815	-11,10	0,000	1,0

S = 22,96                  R-Sq = 52,7%                  R-Sq(adj) = 51,6%

**Analysis of Variance**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	72959	24320	46,13	0,000
Residual Error	124	65379	527		
Total	127	138337			

Source	DF	Seq SS
titik	1	418
penambahan	1	7542
hari	1	64999

**Unusual Observations**

Obs	titik	bakteri	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	1,00	150,75	84,46	5,34	66,29	2,97R
33	3,00	150,75	82,88	4,55	67,86	3,02R
65	5,00	150,75	81,31	4,38	69,44	3,08R
97	7,00	150,75	79,73	4,88	71,02	3,17R

R denotes an observation with a large standardized residual

h. Uji Duncan

benzena

Duncan <sup>a,b</sup>

perlakuan	N	Subset	
		1	2
perlakuan 1	8	82,75438	
perlakuan 3	8		83,02288
perlakuan 2	8		83,03263
perlakuan 4	8		83,06588
Sig.		1,000	,734

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
Based on Type III Sum of Squares  
The error term is Mean Square(Error) = ,055.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.
- b. Alpha = ,05.

benzena

Duncan <sup>a,b</sup>

hari	N	Subset		
		1	2	3
0	8	82,45900		
7	8	82,68963		
14	8		83,09263	
21	8			83,63450
Sig.		,063	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
Based on Type III Sum of Squares  
The error term is Mean Square(Error) = ,055.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.
- b. Alpha = ,05.

bakteri

Duncan <sup>a,b</sup>

perlakuan	N	Subset	
		1	2
perlakuan 4	8	28,36963	
perlakuan 3	8	38,24388	38,24388
perlakuan 2	8	42,27638	42,27638
perlakuan 1	8		56,62325
Sig.		,255	,136

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
Based on Type III Sum of Squares  
The error term is Mean Square(Error) = 504,655.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.
- b. Alpha = ,05.

**bakteri**

Duncan<sup>a,b</sup>

hari	N	Subset	
		1	2
21	8	19,80575	
28	8	21,73400	
14	8	43,09738	
7	8		80,87600
Sig.		,062	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 504,655.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = ,05.

**bakteri**

Duncan<sup>a,b</sup>

jarak	N	Subset	
		1	2
B2	4	81,1675	
B8	4	81,6750	
B6	4	81,8575	
B4	4	81,9525	
B3	4		84,1100
B5	4		84,1550
B1	4		84,3375
B7	4		84,4935
Sig.		,079	,383

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = ,310.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

b Alpha = ,05.



## % Kadar Air dan Nilai pH

- a. Regression Analysis: pH versus % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri; kadar air

The regression equation is

$$\text{pH} = 5,00 - 0,00124 \text{ benzena} + 0,00107 \text{ bakteri} + 0,00302 \text{ kadar air}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	4,9975	0,2570	19,45	0,000	
benzena	-0,0012360	0,0009549	-1,29	0,204	14,5
bakteri	0,0010657	0,0004092	2,60	0,013	2,7
kadar air	0,003017	0,003011	1,00	0,323	24,1

S = 0,05264      R-Sq = 90,4%      R-Sq(adj) = 89,3%

### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,91506	0,22876	82,56	0,00
Residual Error	35	0,09698	0,00277		
Total	39	1,01204			

Source	DF	Seq SS
benzena	1	0,01018
bakteri	1	0,02429
kadar air	1	0,00278

### Unusual Observations

Obs	pH	Fit	SE Fit	Residual	StResi
2	5,21000	5,18862	0,03485	0,02138	0,54
9	5,04000	4,90626	0,02176	0,13374	2,79R
10	4,97000	4,84189	0,02135	0,12811	2,66R

R denotes an observation with a large standardized residual. X denotes an observation whose X value gives it large influence.

b. Regression Analysis: kadar air versus % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri; pH

The regression equation is

$$\text{kadar air} = 36,5 - 0,236 \text{ benzena} + 0,0241 \text{ bakteri} + 9,24 \text{ pH}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	36,55	48,48	0,75	0,456	
benzena	-0,23568	0,03660	-6,44	0,000	7,0
bakteri	0,02408	0,02441	0,99	0,331	3,2
pH	9,242	9,224	1,00	0,323	10,1

S = 2,913      R-Sq = 96,0%      R-Sq(adj) = 95,5%  
 Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	7082,0	1770,5	208,59	0,000
Residual Error	35	297,1	8,5		
Total	39	7379,1			

Source	DF	Seq SS
benzena	1	996,7
bakteri	1	21,6
pH	1	8,5

Unusual Observations

Obs	kadar air	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
2	63,000	64,813	1,915	-1,813	-0,83 X
4	44,000	51,998	0,739	-7,998	-2,84R

R denotes an observation with a large standardized residual. X denotes an observation whose X value gives it large influence.

c. Correlations: % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri; pH; H<sub>2</sub>O

	benzena	bakteri	pH
bakteri	0,490 0,001		
pH	-0,9316 0,000	-0,736 0,000	
H <sub>2</sub> O	-0,912 0,000	-0,902 0,000	0,928 0,000

Cell Contents: Pearson correlation  
 P-Value

**Nilai C: N: P**

a. Correlations: % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri; C: N: P

	benzena	bakteri	C	N
bakteri	0,490 0,001			
C	-0,993 0,000	-0,482 0,002		
N	-0,993 0,000	-0,480 0,002	1,000 0,000	
P	-0,985 0,000	-0,457 0,003	0,997 0,000	0,998 0,000

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

b. Regression Analysis: C versus % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri

The regression equation is

$$C = 3,58 - 0,0361 \text{ benzena} + 0,00032 \text{ bakteri}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	3,57690	0,05106	70,06	0,000	
benzena	-0,036109	0,001567	-23,04	0,000	5,2
bakteri	0,000321	0,001086	0,30	0,769	2,6

S = 0,1445

R-Sq = 98,7%

R-Sq(adj) = 98,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	56,624	18,875	904,16	0,000
Residual Error	36	0,752	0,021		
Total	39	57,376			

Source	DF	Seq SS
benzena	1	27,563
bakteri	1	0,002

c. Regression Analysis: N versus % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri

The regression equation is

$$N = 0,360 - 0,00348 \text{ benzena} + 0,000030 \text{ bakteri}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,359705	0,005246	68,56	0,000	
benzena	-0,0034805	0,0001610	-21,61	0,000	5,2
bakteri	0,0000304	0,0001116	0,27	0,787	2,6

$$S = 0,01485 \quad R\text{-Sq} = 98,5\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 98,4\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,52961	0,17654	800,92	0,000
Residual Error	36	0,00794	0,00022		
Total	39	0,53755			

Source	DF	Seq SS
benzena	1	0,25617
bakteri	1	0,00002

d. Regression Analysis: P versus % penurunan konsentrasi senyawa benzena; % pertumbuhan bakteri

The regression equation is

$$P = 0,0350 - 0,000235 \text{ benzena} + 0,000002 \text{ bakteri}$$

$$S = 0,001467 \quad R\text{-Sq} = 97,1\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 96,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,00258163	0,00086054	399,72	0,000
Residual Error	36	0,00007750	0,00000215		
Total	39	0,00265914			

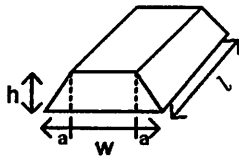
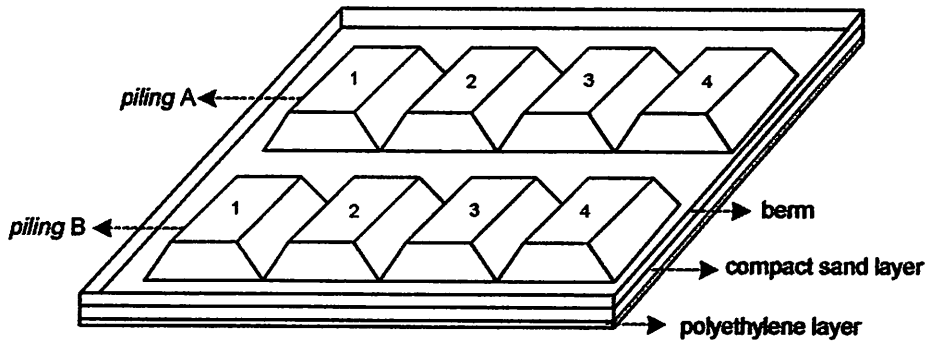
Source	DF	Seq SS
benzena	1	0,00116617
bakteri	1	0,00000006

## **LAMPIRAN IV**

- **GAMBAR**

- **PERHITUNGAN**

**Gambar Biopiling**



**Dimensi Piling**

$h=0.3\text{m}$

$p=0.5\text{m}$

$l=0.5\text{m}$

$a=0.15\text{m}$

**Keterangan:**

**Piling A**= 65,807.14 mg C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>/Kg tanah

**Piling B**= 55,966.82 mg C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>/Kg tanah

**Perlakuan 1**= 0 *Bacillus Cereus*

**Perlakuan 2**= 1840000 *Bacillus Cereus*

**Perlakuan 3**= 1600000 *Bacillus Cereus*

**Perlakuan 4**= 3440000 *Bacillus Cereus*

Dinie Fahrianie

99.26.008

**Uji Kemampuan Biodegradasi Senyawa Hidrokarbon (Benzena) Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi Dengan Teknologi Biopiling**

## PERHITUNGAN

### 1. Dimensi *Piling*

#### a. Dimensi yang diinginkan:

- $P = 0.5$  meter
- $L = 0.5$  meter
- $t = 0.3$  meter

#### b. $V = 1/6 t (B_1 + 4.M + B_2)$

Dimana:

$V$  = Volume *piling*

$h$  = Tinggi *piling*

$B_1$  = Bidang atas *piling*

$B_2$  = Bidang bawah *piling*

$M$  = Bidang tengah *piling*

$B_1 = l \cdot w + 2aw + 2al + 4a^2$

$B_2 = l \cdot w$

$M = a^2$

Jadi:

- $V_{piling} = 0.0525 \text{ m}^3$
- Jumlah total volume *piling* =  $0.42 \text{ m}^3$

#### c. Kemiringan

- $a$  yang diinginkan =  $0.15$  meter

- $\tan \theta = t/a$

$$= 0.3/0.15$$

$$\theta = 63.43^\circ$$

- $\sin \theta = t/t \text{ slope} \cdot t$

$$\sin 63.43 = 0.3/ t \text{ slope} (0.3)$$

$$t \text{ slope} = 1.12$$

2. Konsentrasi awal senyawa benzena (sebagai contoh digunakan *piling A*)

a. Diketahui:

- Konsentrasi senyawa benzena = 0.749%
- Volume sampel uji = 10 ml
- 1 L  $C_6H_6$  = 0.8786 Kg
- Volume pengenceran =  $10^3$

b. Penyelesaian:

$$= 0.749\% \times (10 \text{ ml}) \times (10^3)$$

$$= 7.49 \text{ ml/gr tanah}$$

$$= 65,807.14 \text{ mg } C_6H_6/\text{Kg tanah}$$

3. Nilai kadar air awal

a. Diketahui:

- Nilai kadar air awal = 11.86 % dari 30% *field capacity*
- *Field capacity* yang diinginkan = 85%

b. Penyelesaian:

- Jika *field capacity* = 85%, maka % kadar air yang diinginkan adalah:  
 $30\% \text{ field capacity} / 11.86\% \text{ kadar air} = 85\% \text{ field capacity} / x\% \text{ kadar air}$   
% kadar air yang diinginkan = 33.59%
- Sebelum penambahan air, 1 Kg tanah mengandung 0.12 Kg air.  
Setelah penambahan air, 1 Kg tanah akan mengandung 0.34 Kg air
- Dalam 1 Kg tanah dengan kadar air 33.59%, mengandung 0.66 Kg tanah kering.
- Pada kadar air 11.86%, total berat tanah yang mengandung 0.66 tanah kering akan menjadi  $(0.66/0.88) = 0.75$  Kg.
- 0.75 Kg tanah dengan kadar air 11.857%, akan mengandung 0.66 Kg tanah kering dan 0.09 Kg air.
- Untuk mendapatkan 1 Kg tanah dengan kadar air 33.59%, maka setiap 0.75 Kg tanah dengan kelembapan 11.89% harus ditambahkan 0.25 Kg air.  
 $= 0.25 \text{ Kg air} / 0.75 \text{ Kg tanah dengan } 11.86\% \text{ kadar air dalam tanah}$   
 $= 0.33 \text{ Kg air} / \text{Kg tanah dengan kadar air } 11.86\%$



- Berat jenis tanah =  $1,400 \text{ Kg/m}^3$
- Jadi, volume air yang harus ditambahkan per  $\text{m}^3$  tanah adalah:  
 =  $(0.25 \text{ Kg air/Kg tanah dengan } 11.86\% \text{ kadar air}) (1,400 \text{ Kg/m}^3)$   
 (1L/Kg air)  
 =  $462 \text{ L/m}^3$   
 =  $24.26 \text{ L/piling}$

#### 4. Nilai C: N: P awal

##### a. Diketahui:

- Konsentrasi  $\text{C}_6\text{H}_6$  =  $65,807.14 \text{ mg/Kg tanah}$
- Nilai N dalam tanah =  $4.2 \text{ mg/Kg tanah}$
- Nilai P dalam tanah =  $5.699 \text{ mg/Kg tanah}$
- C: N: P yang diinginkan =  $100: 10: 1$
- Nilai C yang diinginkan =  $(65,807.14 \text{ mg /Kg tanah}) (0.8)$   
 =  $52,645.71 \text{ mg /Kg tanah}$
- Nilai N yang diinginkan =  $52,645.71 \text{ mg/Kg tanah } (10/100)$   
 =  $5,264.57 \text{ mg/Kg tanah}$
- Nilai P yang diinginkan =  $52,645.71 \text{ mg/Kg tanah } (1/100)$   
 =  $526.457 \text{ mg/Kg tanah}$
- Volume *piling* =  $0.0525 \text{ m}^3$
- Berat jenis tanah =  $1,400 \text{ Kg/m}^3$

##### b. Penyelesaian:

- Total nilai C dalam tanah  
 =  $(52,645.71 \text{ mg/Kg tanah}) (1,400 \text{ Kg/m}^3) (1 \text{ Kg}/10^6 \text{ mg})$   
 =  $73.70 \text{ Kg /m}^3$   
 =  $3.86 \text{ Kg /piling}$
- Total nilai N yang diinginkan  
 =  $(5,264.57 \text{ mg/Kg tanah} - 4.2 \text{ mg})$   
 =  $5,260.37 \text{ mg/Kg tanah}$
- Jumlah N yang harus ditambahkan  
 =  $(5,260.37 \text{ mg/Kg tanah}) (1,400 \text{ Kg/m}^3) (1 \text{ Kg}/10^6 \text{ mg})$   
 =  $0.39 \text{ Kg N/piling}$

- Total nilai P yang diinginkan

$$= (526.457 \text{ mg/Kg tanah} - 5.69 \text{ mg/Kg tanah})$$

$$= 520.767 \text{ mg/Kg tanah}$$

- Jumlah P yang harus ditambahkan

$$= (520.767 \text{ mg/Kg tanah}) (1,400 \text{ Kg/m}^3) (1 \text{ Kg}/10^6 \text{ mg})$$

$$= 0.038 \text{ Kg P/piling}$$

## **LAMPIRAN V**

### **PRINSIP ANALISA**

- **PEWARNAAN GRAM**
- **METODE CAWAN TUANG**
  - **TEST MICROBACT**
- **EKSTRAKSI SENYAWA BENZENA**
  - **GAS CHROMATOGRAPHY**
- **ANALISA KESUBURAN TANAH**
  - **TEST VOLUMETRIK**
    - **PH**

## **Prosedur Penelitian**

### **1. Pewarnaan Gram**

Pewarnaan Gram digunakan untuk mengetahui bentuk dan struktur dari mikroba. Metode ini dilakukan dengan cara membagi mikroba menjadi 2 kelompok, tergantung kemampuan mikroba untuk menahan zat warna pertama setelah diberi larutan iodium dan dicuci dengan alkohol aseton. Mikroba yang mampu menahan zat warna pertama disebut mikroba Gram positif, sedangkan mikroba yang tidak mampu menahan zat warna pertama disebut mikroba Gram negatif. Adapun tahap-tahapnya adalah:

**a) Bahan-bahan yang digunakan:**

- Sampel uji
- Larutan saffranin
- Oil immersion
- Hucker's
- Negrosin
- Alkohol

**b) Alat-alat yang digunakan:**

- Kaca objek
- Deck glass
- Mikroskop
- Bunsen
- Kawat ose
- Tissue

**c) Cara kerja:**

- Mengambil preparat dan membersihkan dengan alkohol, kemudian dicuci dengan air kran.
- Mengeringkan diatas nyala api spiritus.
- Meneteskan sampel uji.
- Memfiksasi dengan dipanaskan di atas nyala api spiritus 5-6 kali, yang bertujuan untuk melekatkan mikroba yang akan diamati.
- Meneteskan 1 kali zat warna saffranin kemudian didiamkan selama 20 menit.

- Mencuci dengan ditetesi air supaya zat warna tidak berlebih.
- Menutup dengan oblige, kemudian ditetesi dengan oil immersion.
- Mengamati dengan mikroskop.

## 2. Metode Cawan Tuang

Metode hitungan cawan pada prinsipnya jika sel-sel yang masih hidup ditumbuhkan pada medium agar, maka sel mikroba tersebut terus berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat langsung dilihat dengan mata tanpa menggunakan mikroskop dan cara ini merupakan cara yang paling sensitif. Adapun tahap-tahap metode cawan tuang adalah:

### a) Bahan-bahan yang digunakan:

- Aquadest
- Nutrisi agar
- Sampel uji

### b) Alat-alat yang digunakan:

- Tabung reaksi
- Tabung Durham
- Pipet tetes
- Pipet volume
- Inkubator
- Erlenmeyer
- Batang pengaduk
- Cawan Petri
- Karet penghisap
- Gelas ukur

### c) Cara kerja:

- Mengambil sampel
- Masing-masing sampel diambil 1 ml dan dimasukkan ke dalam 99 ml kaldu nutrisi steril = pengenceran  $10^{-2}$ .
- Dari pengenceran  $10^{-2}$  diambil 1 ml dan kemudian menambahkan 9 ml kaldu nutrisi steril = pengenceran  $10^{-3}$ .
- Membuat sampai pengenceran  $10^{-7}$ .

- Mengambil 1 ml dari pengenceran  $10^{-4}$ .
- Menuangkan ke dalam cawan Petri kemudian menambahkan nutrisi agar steril pada cawan tersebut. Menutup cawan Petri.
- Memasukkan ke dalam inkubator dengan posisi terbalik pada suhu  $37^{\circ}\text{C}$  selama 24/48 jam.

### **3. Test Microbact**

#### **a. Test Oksidasi**

Kultur bakteri yang akan diidentifikasi diambil sedikit dengan kayu/kaca, kemudian ditempelkan pada kertas oksidase (tersedia)

- Warna ungu menunjukkan oksidasi positif (+), maka harus memakai Microbact MB-12A atau Microbact MB-24E.
- Tidak berwarna menunjukkan oksidasi negatif (-), maka bisa memakai Microbact MB-12A atau bisa juga MB-12A + MB-12B, atau MB-24E.

#### **b. Persiapan Kuman**

Diambil satu koloni bakteri yang sudah dieram/diinkubasi selama 18-24 jam, dengan ose kemudian diemulsikan ke dalam 3-6 ml garam fisiologis pada tabung reaksi steril hingga homogen (larutan kuman).

#### **c. Pengisian Microbact**

Diambil Microbact, kemudian ditarik sel penutupnya dan teteskan pada setiap sumur Microbact dengan larutan kuman sebanyak 100 UI (4 tetes), untuk sumur Lysin, Orinitin,  $\text{H}_2\text{S}$  pada MB-12A dan sumur Arginin pada MB-12B ditetesi dengan mineral oil sebanyak 1-2 tetes (sudah tersedia). Setelah itu sel ditutup kembali dan Microbact dieram selama 18-24 jam pada suhu  $37^{\circ}\text{C}$  di dalam inkubator.

d. **Pembacaan Microbact**

Diambil Microbact dari inkubator, kemudian buka seal penutupnya dan tambahkan dengan reagent pada:

- Sumur nomor 8 dengan Indol Kovact, 2 tetes.
- Sumur nomor 10 dengan VP I dan VP II masing-masing 1 tetes.
- Sumur nomor 12 dengan TDA, 1 tetes.

Evaluasi hasil

- Dari sumur-sumur Microbact, apakah positif atau negatif dengan cara membandingkan dengan tabel warna dan hasilnya ditulis pada formulir *pasient record* (tersedia).
- Angka-angka oktal didapat dari penjumlahan reaksi positif saja, dari tiap-tiap kelompok (3 sumur didapatkan 1 angka oktal).
- Nama kuman bisa dilihat di buku atau dengan komputer berdasarkan angka oktal tadi.

e. **Test Tambahan**

Test reduksi Nitrat

Test ini dilakukan pada sumur nomor 7/ONPG. Setelah pembacaan reaksi ONPG, kemudian sumur nomor 7 ini ditetesi dengan reagent: nitrat A dan nitrat B, masing-masing 1 tetes.

- Reaksi positif (+) apabila berwarna merah
- Reaksi negatif (-) apabila tidak merubah warna.

Untuk semua golongan familia *Enterobacteriaceae* akan mereduksi nitrat (warna merah).

f. **Test Pergerakan/Motilitas**

Diambil koloni dari kultur kuman dengan ose/sengkelit lalu letakkan pada kaca objek glass yang sudah ditetesi dengan 1 tetes NaCl fisiologis, setelah itu tutup dengan deck glass dan di atasnya ditetesi dengan 1 tetes minyak imersi, dan dilihat di bawah mikroskop dengan perbesaran 1000 kali.

#### 4. Ekstraksi Senyawa Benzena

Peralatan:

- a. Labu ukur
- b. Pipet ukur
- c. Timbangan elektrik

Reagen:

- a. Larutan n-heksana

Cara kerja:

- a. Masukkan sampel tanah ke dalam larutan n-heksana dengan ratio 1:100.
- b. Lakukan pengocokan sampai larutan menjadi homogen, kemudian endapkan.
- c. Pisahkan larutan dari endapan, untuk melakukan tes GC.

#### 5. Gas Chromatography

Analisa gas chromatography menggunakan detektor FID (*Flame Ionization Detector*) dengan kolom nonpolar. Dasar kerjanya adalah: cuplikan diinjeksikan ke dalam injektor. Aliran gas dari gas pengangkut akan membawa cuplikan yang telah teruapkan masuk ke dalam kolom. Kolom akan memisahkan komponen-komponen dari cuplikan. Kemudian komponen-komponen dideteksi oleh detektor, dan sinyal dalam bentuk puncak akan dihasilkan oleh pencatat.

Pada detektor FID, gas/komponen-komponen yang keluar dari kolom dicampur dengan  $H_2$  dan dibakar oleh  $O_2$  atau udara. Sebagai hasil pembakaran diperoleh partikel-partikel yang bermuatan. Ion-ion dan elektron-elektron yang dibentuk oleh nyala ini kemudian masuk pada celah elektroda yang terbentuk dari dua pelat bermuatan. Molekul-molekul cuplikan yang bermuatan tersebut bergerak menyebrang celah elektroda. Hal ini mengakibatkan penurunan tegangan mula-mula dari elektroda. Tegangan ini yang kemudian digunakan untuk menggerakkan pencatat.



Hantaran listrik dari gas adalah berbanding langsung dengan konsentrasi dari partikel-partikel yang bermuatan dalam gas.

FID hampir peka terhadap semua senyawa, kecuali  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CS}_2$  dan beberapa gas (gas mulia,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ). FID sangat tergantung pada kecepatan alir gas.

## 6. Penetapan N Total

### Peralatan:

- Neraca analitik dengan ketelitian 3 desimal
- Tabung digestion dan blok digestion
- Labu didih 250 ml
- Erlenmeyer 100 ml
- Buffer 10 ml
- Pengaduk magnetik
- Dispenser
- Tabung reaksi
- Pengocok tabung
- Alat destilasi atau spektrofotometri

### Pereaksi

#### 1. Destruksi

- Asam sulfat pekat 95-97 %.
- Campuran selen p.a (tersedia di pasaran) atau buat dengan mencampurkan 1.55 gr  $\text{CuSO}_4$  anhidrat; 96.9 gr  $\text{Na}_2\text{SO}_2$  kemudian dihaluskan.

#### 2. Destilasi

- Asam borat 1 % (larutkan 10 gr  $\text{H}_3\text{BO}_3$  dengan 1 L air bebas ion)
- Natrium hidroksida 40 %  
Larutkan 400 gr  $\text{NaOH}$  dalam piala gelas dengan air bebas ion 600 ml, setelah dingin diencerkan menjadi 1 L.
- Batu didih (buat dari batu apung yang dihaluskan)

- **Petunjuk Conway**

Larutkan 0.100 gr merah metal (metal red) dan 0.150 gr hijau bromkresol (romkresol green) dengan 200 ml etanol 96 %.

- **Larutan baku asam sulfat 1 N (titrisol)**

- **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N**

Masukan 111 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> p.a pekat (95-97 %) sedikit demi sedikit melalui dinding labu ukur 1000 ml yang telah berisi sekitar 700 ml air bebas ion, kocok dan biarkan menjadi dingin , tambahkan lagi air bebas ion hingga 1000 ml, kocok.

- **Larutan baku sulfat 0.05 N**

Pipet 50 ml larutan baku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N titrisol ke dalam labu ukur 1 L. encerkan dengan air bebas ion hingga 1 L atau pipet 12.5 ml asam sulfat 4 N ke dalam labu ukur 1 L, diencerkan sampai 1 L dengan air bebas ion, kocok, kenormalannya ditetapkan dengan bahan baku boraks.

### 3. Spektrofotometri

- **Standar 0**

Encerkan ekstrak blanko dengan air bebas ion menjadi 50 ml. jumlah blanko yang dikerjakan disesuaikan dengan standar 0 yang diperlukan.

- **Standar pokok 1000 ppm N**

Timbang 4.7143 gr serbuk (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> p.a (yang telah dikeringkan pada 100 °C selama 4 jam) ke dalam labu ukur 1 L. Tambahkan air bebas ion hingga tepat 1 L dan kocok hingga larutan homogen.

- **Standar 20 ppm N**

Dibuat dengan 2 ml larutan standar pokok 1000 ppm N ke dalam labu ukur 100 ml dan encerkan dengan standar 0 hingga tepat 100 ml.

- **Deret standar 0-20 ppm N**

Pipet 0; 1; 2; 4; 6; 8; 10 ml standar N 20 ppm, masing-masing ke dalam tabung reaksi. Tambahkan standar 0 hingga semuanya

menjadi 10 ml. Deret standar ini memiliki kepekatan 0, 2, 4, 8, 12, 16 dan 20 ppm N. lakukan pengocokan pada setiap pencampuran.

- Larutan Na-Fenat

Timbang 100 gr serbuk NaOH p.a dan dilarutkan secara perlahan sambil diaduk dengan sekitar 500 ml air bebas ion di dalam labu ukur 1 L. Setelah dingin tambahkan 125 gr serbuk fenol dan aduk hingga larut. Diencerkan dengan air bebas ion hingga 1 L.

- Larutan sangga tartrat

Timbang 50 gr serbuk NaOH p.a dan dilarutkan secara perlahan sambil diaduk dengan sekitar 500 ml air bebas ion dalam labu ukur 1 L. Setelah dingin tambahkan 50 gr serbuk K, Na tartrat dan aduk hingga larut. Encerkan dengan air bebas ion hingga 1 L.

- Natrium hipoklorit (NaOCl) 5 %

### Cara kerja

#### 1. Destruksi contoh

- Timbang 0.500 gr contoh tanah ukuran  $< 0.5$  mm, masukkan ke dalam tabung digestion. Tambahkan 1 gr campuran selen dan 3 ml asam sulfat pekat didestruksi hingga suhu  $350^{\circ}\text{C}$  (3-4 jam). Destruksi selesai bila keluar uap putih dan didapat ekstrak jernih (sekitar 4 jam).
- Tabung diangkat, didinginkan dan kemudian ekstrak diencerkan dengan air bebas ion hingga tepat 50 ml, kocok sampai homogen. Biarkan semalaman agar partikel mengendap. Ekstrak digunakan untuk pengukuran N dengan cara destilasi/cara kolorometri.

#### 2. Pengukuran N

- Pengukuran N dengan cara destilasi  
Pindahkan secara kualitatif seluruh ekstrak contoh ke dalam labu ukur didih (gunakan air bebas ion dan labu semprot). Tambahkan sedikit serbuk batu didih dan aquades hingga volume labu. Disiapkan penampung untuk  $\text{NH}_3$  yang dibebaskan yaitu Erlenmeyer yang berisi 10 ml asam borat 1 % yang ditambah

hingga 3 tetes indikator Conway (berwarna merah) dan dihubungkan dengan alat destilasi. Dengan gelas ukur tambahkan NaOH 40 % sebanyak 10 ml ke dalam labu didih yang berisi contoh dan secepatnya ditutup. Didestilasi hingga volume penampung mencapai 50-75 ml (berwarna hijau). Destilat dititrasi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.050 N hingga warna merah muda. Catat volume titrasi contoh (Vc) dan blanko (Vb).

- Pengukuran N dengan spektrofotometri

Pipet ke dalam tabung reaksi masing-masing 2ml ekstrak jernih dan deret standart. Tambahkan berturut-turut larutan sangga tartrat dan Na-Fenat masing-masing sebanyak 4 ml, kocok dan biarkan 10 menit. Tambahkan 4 ml NaOCl 5%, kocok dan diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 639mm setelah 10 menit sejak pemberian pereaksi ini.

Catatan: warna biru indofenol yang terbentuk kurang stabil. Upayakan agar diperoleh waktu yang sama antara pemberian pereaksi dan pengukuran untuk setiap deret standard dan contoh.

### Perhitungan

#### a. Cara destilasi

$$\begin{aligned}\text{Kadar N (\%)} &= (Vc-Vb) \times N \times \text{bst N} \times 100 \text{ mg contoh}^{-1} \times \text{fk} \\ &= (Vc-Vb) \times N \times 14 \times 100 \text{ 500}^{-1} \times \text{fk} \\ &= (Vc-Vb) \times N \times 2.8 \times \text{fk}\end{aligned}$$

Keterangan:

V<sub>c,b</sub> = ml titrat contoh dan blanko

N = normalitas larutan baku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

14 = bobot setara N

100 = konversi ke %

fk = faktor koreksi kadar air = 100/(100-% kadar air)

b. Spektrofotometri

$$\begin{aligned}\text{Kadar N (\%)} &= \text{ppm kurva} \times (\text{ml ekstrak}) (1000 \text{ ml})^{-1} \times 100 \\ &\quad (\text{mgcontoh})^{-1} \times \text{fp} \times \text{fk} \\ &= \text{ppm kurva} \times 50 \text{ } 1000^{-1} \times 100 \text{ } 500^{-1} \times \text{fp} \times \text{fk} \\ &= \text{ppm kurva} \times 0.01 \times \text{fp} \times \text{fk}\end{aligned}$$

Keterangan:

ppm kurva = kadar contoh yang didapat dari kurva antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko.

100 = konversi ke %

fp = faktor pengenceran (bila ada)

fk = faktor koreksi kadar air =  $100/(100-\% \text{ kadar air})$

## 7. Penetapan P dan K ekstrak 25 %

### Peralatan

- Neraca analitik dengan ketelitian 3 desimal
- Botol kocok
- Mesin kocok bolak balik
- Alat sentrifusi
- Tabung reaksi
- Pipet volume 0.5 ml
- Pipet volume 2 ml
- Pipet ukuran 10 ml
- Spektrofotometri UV-VIS
- Flamefotometer

## Pereaksi

- a. HCl 25 %  
Encerkan 675, 68 ml HCl pekat (37 %) dengan air bebas ion menjadi 1 L.
- b. Pereaksi P pekat  
Larutkan 12 gr  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24.4} \cdot \text{H}_2\text{O}$  dengan 100 ml air bebas ion dalam labu ukur 1 L. Tambahkan 0.277 gr  $\text{K}((\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4)_6$  0.5 air dan secara perlahan 140 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat. Jadikan 1L dengan air bebas ion.
- c. Pereaksi pewarna P  
Campurkan 1.06 gr asam karbonat dengan 100 ml pereaksi P pekat kemudian dijadikan 1 L dengan air bebas ion. Pereaksi P ini harus selalu dibuat baru.
- d. Standar induk 1000 ppm  $\text{PO}_4$  (titrisol)  
Pindahkan secara kuantitatif larutan standar induk  $\text{PO}_4$  titrisol di dalam ampul ke dalam labu ukur 1 L. Impitkan dengan air bebas ion sampai tanda garis, kocok.
- e. Standar induk 200 ppm  $\text{PO}_4$   
Pipet 50 ml standar induk  $\text{PO}_4$  1000 ppm titrisol ke dalam labu 250 ml, impitkan dengan air bebas ion hingga dengan tanda garis lalu kocok.
- f. Standar induk 1000 ppm K (titrisol)  
Pindahkan secara kuantitatif larutan standar induk K titrisol di dalam ampul ke dalam labu ukur 1000 ml dengan air bebas ion sampai dengan tanda garis lalu kocok.
- g. Standar 200 ppm K  
Pipet 50 ml dari standar induk 1000 ppm K kedalam labu ukur 250 ml. impitkan dengan air bebas ion hingga dengan tanda garis lalu kocok.
- h. Deret standar  $\text{PO}_4$  (0, 4, 8, 16, 24, 32 dan 40 ppm)  
Pipet berturut-turut 0, 2, 4, 8, 12, 16, dan 20 ml standar 200 ppm  $\text{PO}_4$  ke dalam labu ukur 100 ml, masing-masing ditambahkan 5 ml HCl 25 % dan air bebas ion hingga tanda garis lalu kocok.

i. Deret standar K (0, 2, 4, 8, 12, 16 dan 20 ppm)

Pipet berturut-turut 0, 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 ml standar 200 ppm K ke dalam labu ukur 100 ml, masing-masing ditambahkan 5 ml HCl 25 % dan air bebas ion hingga tanda garis lalu kocok.

### Cara kerja

- Timbang 2000 gr contoh tanah ukuran < 2 mm, dimasukkan ke dalam botol kocok dan ditambahkan 10 ml HCl 25 % lalu kocok dengan mesin kocok selama 5 jam. Masukkan ke dalam tabung reaksi dan dibiarkan semalam/disentrifusi.
- Pipet 0.5 ml ekstrak jernih contoh ke dalam tabung reaksi. Tambahkan 9.5 ml air bebas ion (pengenceran 20x) dan dikocok. Pipet 2 ml ekstrak contoh encer dan deret standar masing-masing dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 10 ml larutan pereaksi P (warna) dan dikocok, dibiarkan selama 10 menit.
- Untuk kolom ekstrak contoh encer dan deret standar K diukur langsung dengan alat flamefotometer.

### Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Kadar P potensial mg P}_2\text{O}_5 (100 \text{ gr})^{-1} &= \text{ppm kurva} \times (\text{ml ekstrak}/1000 \text{ ml}) \times \\ &100 \text{ gr (gr contoh)}^{-1} \times \text{fp} \times (142/90) \times \text{fk} \\ &= \text{ppm kurva} \times 10/1000 \times 100/2 \times 20 \times 142/90 \times \text{fk} \\ &= \text{ppm kurva} \times 10 \times 142/190 \times \text{fk} \end{aligned}$$

Kadar K potensial mg K<sub>2</sub>O (100 gr)

$$= \text{ppm kurva} \times 10 \times 94/78 \times \text{fk}$$

Keterangan:

ppm kurva = kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko.

Fk = faktor koreksi kadar air = 100/(100-% kadar air)

Fp = faktor pengenceran (bila ada)

142/190 = faktor konversi bentuk  $\text{PO}_4$  menjadi  $\text{P}_2\text{O}_5$

94/78 = faktor konversi bentuk K menjadi  $\text{K}_2\text{O}$

## 8. Test Volumetrik

### a. Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air tanah yang didapat dari perbandingan antara berat air yang terkandung di dalam tanah dengan berat tanah tersebut (dinyatakan dalam %).

### b. Peralatan

- Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu sampai  $105-110^\circ\text{C}$ .
- Cawan dengan ukuran yang cukup, bisa terbuat dari logam ataupun gelas.
- Neraca dengan ketelitian 0,01 gr, 0,1 gr, dan 1gr.
- Desicator.

### c. Benda uji

Jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk pemeriksaan kadar air tergantung pada ukuran butir maksimum dari contoh yang diperiksa dengan ketelitian seperti pada tabel berikut:

Ukuran Butir Maksimum	Jumlah Benda Uji Minimum	Ketelitian
$\frac{3}{4}$ "	1000 gr	1 gr
Lewat saringan no. 10	100 gr	0,1 gr
Lewat saringan no. 40	10 gr	0,01 gr

### d. Pelaksanaan

- Benda uji mewakili tanah yang diperiksa ditempatkan dalam cawan yang bersih, keringkan dan timbang beratnya.
- Cawan dan isinya kemudian ditimbang dan berat dicatat.
- Tutup cawan kemudian dibuka, cawan dan contoh tanah dimasukkan ke dalam oven ditempatkan di oven atau pengering



lainnya paling sedikit 24 jam (untuk oven) atau sampai berat konstan. Agar pengering dapat berjalan sempurna, susunan benda uji di dalam oven harus diatur sehingga satu dengan lainnya tidak saling mengganggu proses pengering/penguapan.

Jika tidak terdapat oven pengering, maka pelaksanaan dapat dilakukan dengan cara:

- Jika benda uji yang akan dicari kadar airnya tidak mengandung bahan organik atau bahan yang mudah terbakar, maka pengering dapat dilakukan di atas kompor atau dibakar langsung setelah disiram dengan spiritus.
  - Jika benda uji yang akan diperiksa mengandung bahan yang mudah terbakar, maka tidak boleh dilakukan pengeringan dengan cara diatas, tetapi harus dikeringkan dengan kompor dengan temperature tidak lebih dari 60°C atau dengan cara digoreng dengan menggunakan talam atau piring dari logam sampai berat konstan.
- Cawan ditutup kemudian didinginkan dalam desicator.
  - Setelah dingin ditimbang dan beratnya dicatat.

e. Perhitungan

Kadar air dapat dihitung sebagai berikut:

Berat cawan + tanah basah.....	W <sub>1</sub>
Berat cawan + tanah kering.....	W <sub>2</sub>
Berat cawan kosong.....	W <sub>3</sub>
Berat air.....	(W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub> )
Berat tanah kering.....	(W <sub>2</sub> -W <sub>3</sub> )

$$\text{Kadar air (W)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\%$$

## **9. Analisa pH**

### **a. Alat-alat:**

- pH meter

### **b. Cara kerja:**

- Pasangkan pH meter ke dalam tiap-tiap sampel, diamkan selama 5 menit untuk nilai akurasi.
- Baca nilai yang tertera pada display lalu catat hasilnya.